**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Características de grãos e amido de diferentes cultivares de quinoa
(*Chenopodium quinoa* Willd.)**

Yemina Karen Díaz Valencia

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

**Piracicaba
2016**

Yemina Karen Díaz Valencia
Engenheira de Indústrias Alimentícias

Características de grãos e amido de diferentes cultivares de quinoa
(*Chenopodium quinoa* Willd.)

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. **SANDRA HELENA DA CRUZ**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Díaz Valencia, Yemina Karen

Características de grãos e amido de diferentes cultivares de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) / Yemina Karen Díaz Valencia. - - Piracicaba, 2016.
90 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Compostos fenólicos 2. Capacidade antioxidante 3. Minerais 4. Hidrólise enzimática
I. Título

CDD 633.1
D542c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

A Deus,
minha família,
meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu força e a oportunidade de estudar e fazer este trabalho

Aos meus pais Aquilino Díaz e Pastora Valencia pelo apoio e estímulo constante para poder concluir esta meta.

À Profa. Dra Sandra Helena da Cruz pela orientação e apoio constante, dedicação, paciência na elaboração deste trabalho.

À Dra Maria Antonia Calori Domingues pelo apoio constante, dedicação e paciência na elaboração deste trabalho.

Às Profas. Dra. Silene Bruder Silveira Sarmiento e Dra Solange Guidolin Canniatti Brazaca por me auxiliarem nas dúvidas que surgiram ao longo desse trabalho e pela disponibilidade dos laboratórios.

À Prof. Dra. Carmen Josefina Contreras Castillo, pela confiança e apoio, além de ser um grande exemplo para mim.

Ao Dr. Manoel Divino da Matta Junior, pelo auxílio e atenção na realização deste trabalho.

À Carlota Boralli Prudente dos Anjos pela ajuda e paciência na realização das análises no laboratório de amido.

Ao sr. Luiz Carlos Rodrigues pela elaboração dos gráficos e fotografias apresentadas neste trabalho.

Aos meus queridos amigos Erick, Carmencita, Meli, Meliza, Claudio, Dario, Rafa e Sebas pela amizade e por poder compartilhar tantos bons momentos inesquecíveis.

Ao programa Nacional de Becas e Credito Educativo “PRONABEC” que me concedeu uma bolsa de estudos permitindo minha formação.

A todos os professores e funcionários do LAN/ESALQ pela amizade, ajuda e serviços prestados.

E a todas as pessoas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO GERAL	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 Características gerais dos grãos de quinoa	21
3.1.1 Composição dos grãos de quinoa	22
3.1.2 Compostos fenólicos e Capacidade antioxidante	23
3.2 Amido de quinoa e suas propriedades	24
3.2.1 Características químicas	24
3.2.2 Características físicas do amido	26
3.2.3 Propriedades funcionais do amido	26
3.3 Consumo e utilização tecnológica da quinoa	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 Obtenção das amostras de quinoa	31
4.2 Preparo das amostras de quinoa	31
4.3 Extração do amido de quinoa	32
4.4 Metodologia analítica	35
4.4.1 Determinação do teor de saponinas	35
4.4.2 Classificação por tamanho dos grãos de quinoa e Peso de mil grãos	35
4.4.3 Avaliação da cor	35
4.4.4 Composição físico-química dos grãos de quinoa e do amido	36
4.4.5 Determinação de compostos fenólicos	36
4.4.6 Avaliação da Capacidade antioxidante	37
4.4.7 Determinação do teor de amilose total	38
4.4.8 Difração de raios X e cristalinidade relativa	39
4.4.9 Propriedades térmicas	40
4.4.10 Propriedades viscoamilográficas do amido de quinoa	41
4.4.11 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	42
4.4.12 Susceptibilidade à hidrólise enzimática	42
4.5 Análises estatísticas	43

5 RESULTADOS.....	45
5.1 Caracterização dos grãos de quinoa	45
5.1.1 Cor dos grãos de quinoa.....	47
5.1.2 Composição físico-química dos grãos de quinoa.....	49
5.1.3 Teor de minerais.....	51
5.1.4 Avaliação de compostos fenólicos totais	55
5.1.5 Avaliação da capacidade antioxidante	56
5.1.6 Características do amido de quinoa	58
5.2 Características do amido isolado dos grãos de quinoa.....	59
5.2.1 Composição do amido de quinoa	59
5.2.2 Teor de amilose	60
5.2.3 Cristalinidade dos grânulos de amido	62
5.2.4 Propriedades térmicas	64
5.2.5 Propriedades de pasta.....	69
5.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	73
5.2.7. Susceptibilidade à hidrólise enzimática	74
5.2.8 Cor do amido.....	77
6 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS.....	81

RESUMO

Características de grãos e amido de diferentes cultivares de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Os grãos de quinoa possuem excelente balanço nutricional além das propriedades funcionais, comparativamente superior à dos cereais. A quinoa é cultivada em diversos países e, devido às suas características, têm aumentado o interesse de pesquisadores e consumidores. A quinoa contém pericarpo branco, no entanto, existem grãos com pericarpo vermelho e preto, e todos os tipos são utilizados como alimento em diferentes preparações. Com o objetivo de avaliar as características de grãos de quinoa, amostras de cor branca, preta e vermelha foram analisadas quanto às propriedades físico-químicas e funcionais dos grãos e do amido extraído das diferentes amostras. O amido, extraído pelo método alcalino, foi submetido as análises de teor de amilose, difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura (MEV), propriedades térmicas (por DSC-Differential Scanning Calorimeter) e propriedades de pasta (por RVA- Rapid Visco Analyser), além de suscetibilidade à hidrólise enzimática e cor. A composição físico-química dos grãos de quinoa apresentou como principais diferenças o teor de cinzas, fibras e amido. O teor de amilose variou de 13,6% a 21,3%, entre as amostras de amido; os padrões de cristalinidade dos amidos foram de tipo A, típico dos cereais; e, a cristalinidade relativa variou de 25,4 a 29,6 %; as micrografias obtidas por MEV apresentaram as formas poliédricas dos grânulos de amido. Os viscoamilogramas, obtidos para os diferentes amidos, mostraram um comportamento semelhante entre as amostras brancas e pretas. As propriedades térmicas de retrogradação das amostras de quinoa vermelha apresentaram uma menor taxa de retrogradação que variou de 7,5 a 8,5 %; as cultivares brancas apresentaram as maiores taxas de retrogradação de 19,0 a 25,4 %. A hidrólise enzimática dos grânulos de amido, analisada em equivalentes de maltose, variou de 7,2 a 8,7 mg/mL, com uma velocidade maior para a cultivar BSYB, em 60 minutos. O amido extraído das amostras brancas de quinoa apresentou valor de luminosidade de 99,0 e os amidos extraídos das amostras de cor vermelha e preta apresentaram em torno de 97,0. As análises realizadas neste estudo ampliam o conhecimento das características da quinoa de cor branca, vermelha e preta, além de mostrar que a cultivar brasileira (BSyB) apresenta características diferenciadas em vários parâmetros. Devido as suas propriedades todas as amostras analisadas possuem potencial para futuras aplicações tecnológicas.

Palavras-chave: Compostos fenólicos; Capacidade antioxidante; Minerais; Hidrólise enzimática

ABSTRACT

Characteristics of grains and starch of different quinoa cultivar (*Chenopodium quinoa* Willd.)

The quinoa grain have excellent nutritional balance beyond functional properties, comparatively higher than that of cereals. Quinoa is cultivated in many countries and due to its characteristics; this has increased the interest of researchers and consumers. Quinoa contains white pericarp, however, there are red and black grain pericarp and all of kinds are used as food in different preparations. In order to evaluate the quinoa grain characteristics, samples of white, black and red color were analyzed for physical-chemical and functional properties of the grains and starch extracted from different samples, aiming a future technology use. Starch from quinoa grains was extracted by the alkaline method and analyzed for amylose content, X-ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM), thermal properties (by Differential Scanning Calorimeter, DSC) and properties folder (by Rapid Visco Analyser, RVA), susceptibility to enzymatic hydrolysis and color. The physicochemical composition of quinoa grains presents major differences as the ash content, fiber and starch. The amylose content ranged from 13.6% to 21.3% among starch samples; patterns crystallinity of starches of type A were typical cereal; and the relative crystallinity ranged from 25.4 to 29.6%; SEM micrographs obtained showed the polyhedral forms of starch granules. The viscoamilogramas obtained for the different starches, show a similar behavior between the white and black samples. The thermal properties of retrogradation of red quinoa samples showed less retrogradation rate ranged from 7.5 to 8.5%; white cultivars showed the highest rates of downgrading from 19.0 to 25.4%. The enzymatic hydrolysis of the starch granules analyzed to maltose equivalents, ranged from 7.2 to 8.7 mg / ml, at a higher speed for cultivating BsyB in 60 minutes. The starch extracted from samples of white quinoa showed 99.0 brightness value and starches extracted from samples of red and black color had around 97.0. The analyzes performed in this study extend the knowledge of quinoa characteristics of white, red and black, in addition to showing that the Brazilian cultivar (BsyB) has different characteristics on various parameters. Because of their properties, all samples have the potential for future technological applications.

Keywords: Phenolic compounds; Antioxidant capacity; Minerals; Enzymatic hydrolysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção longitudinal mostrando o grão de quinoa. O pericarpo (PE) cobre o grão; (T) Episperma ou Testa; (C) cotilédones; (EN) endosperma; (R) radícula e (P) perisperma.....	21
Figura 2 - Interrelações das propriedades do amido.....	25
Figura 3 – Modificações do amido por via enzimática. As setas indicam os pontos de atuação das diferentes enzimas amilolíticas.....	29
Figura 4 – Usos possíveis para quinoa	30
Figura 5 – Esquema geral de condução dos ensaios.....	32
Figura 6 - Fluxograma para extração do amido de quinoa	34
Figura 7 - Difratoograma de raios-X de amido de quinoa, a seção hachurada corresponde à área amorfa (Aa) e a seção entre o limite superior da parte hachurada e o gráfico corresponde à área cristalina (Ac).....	40
Figura 8 - Curva viscoamilográfica de uma amostra de amido de quinoa, obtida pelo RVA, com identificação dos parâmetros avaliados.....	42
Figura 9 - Aspecto geral dos grãos de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd), amostras: VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru	47
Figura 10 – Cor dos grãos de quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.). Amostras: VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru	48
Figura 11 - Difratoograma comparativo do amido das amostras de quinoa: VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru.....	62
Figura 12 - Viscoamilogramas dos amidos de quinoa obtidos por RVA	70
Figura 13 - Micrografia dos amidos de quinoa observadas por microscopia eletrônica de varredura das amostras de amido obtido de quinoa: VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru	74

Figura 14 - Perfil da hidrólise enzimática do amido das amostras de quinoa por alfa amilase de suíno em equivalentes de maltose. Onde: VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru . 76

Figura 15 – Hidrólise enzimática do amido, em equivalentes maltose, até 60 minutos. Onde: VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países produtores de quinoa	17
Tabela 2 - Temperatura de gelatinização de alguns amidos	27
Tabela 3 - Identificação das amostras de quinoa	31
Tabela 4 - Parâmetros utilizados na determinação das propriedades de pasta do amido utilizando o Rapid Visco Analyser (RVA)	41
Tabela 5 - Teor de saponinas nas amostras de grãos de quinoa antes e após desaponificação	45
Tabela 6 - Distribuição dos grãos de quinoa por tamanho e peso de mil grãos padronizados a 10% de umidade das amostras avaliadas	46
Tabela 7 - Luminosidade (L), croma (a), croma (b), croma (C) e ângulo hue (H°) dos grãos de quinoa	49
Tabela 8 - Composição físico-química dos grãos de quinoa ¹	50
Tabela 9 – Teores de macrominerais nas amostras de grãos de quinoa	51
Tabela 10 – Teores de microminerais encontrados nos grãos de quinoa	54
Tabela 11 – Teor de compostos fenólicos totais (CFT) presentes nos grãos de quinoa.....	56
Tabela 12 - Atividade antioxidante ¹ de grãos de quinoa utilizando DPPH ² , e % de inibição..	57
Tabela 13 - Atividade antioxidante ¹ de grãos de quinoa utilizando ABTS ² e % de inibição...	58
Tabela 14 - Teor de amido nos grãos de quinoa avaliadas	59
Tabela 15 - Composição do amido isolado das amostras de quinoa	60
Tabela 16 - Teor de amilose total ¹ no amido obtido das diferentes amostras de quinoa.....	61
Tabela 17 - Cristalinidade relativa dos amidos de quinoa.....	64
Tabela 18 - Propriedades térmicas de gelatinização ¹ do amido extraído de amostras de quinoa determinadas por calorimetria diferencial de varredura	64
Tabela 19 - Propriedades térmicas de retrogradação ¹ do amido de seis cultivares de quinoa determinadas por calorimetria diferencial de varredura	68
Tabela 20 – Propriedades de pasta ¹ dos amidos de quinoa obtidas por RVA	70
Tabela 21 - Produção de açúcar redutor do amido hidrolisado por alfa-amilase em equivalentes de maltose	75
Tabela 22 - Valores de luminosidade (L), croma (C) e ângulo hue (°H) do amido extraído de amostras de quinoa	78

1 INTRODUÇÃO

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) tem sido cultivada pelos habitantes dos Andes há milhares de anos. É considerado um pseudocereal, no entanto, do ponto de vista botânico é uma planta dicotiledônea, diferentemente dos cereais que são monocotiledôneas, embora apresente algumas características destes (FLEMING; GALWEY, 1995).

Os principais países produtores de quinoa são Bolívia e Peru (Tabela 1). No entanto, seu cultivo tem se expandido pela América do Norte e União Européia; também, no Quênia, Himalaia e nas planícies do norte da Índia (FAO, 2011).

Tabela 1 - Países produtores de quinoa

País	Ano (toneladas de grãos)					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Bolívia	26.601	27.169	34.156	36.724	40.942	45.782
Peru	31.824	29.867	39.397	41.079	41.182	44.213
Equador	690	741	800	897	816	800

Fonte: FAO, 2014 elaborado pelo autor

No Brasil, a primeira cultivar de quinoa, a BRS Piabiru foi introduzida na década de 90, como parte de um esforço para diversificar o sistema de produção no Cerrado (SPEHAR; SANTOS, 2002; SPEHAR, 2006). Em 2011 foi lançada no Brasil a cultivar BRS Syetetuba que apresenta maior potencial de produção e qualidade do grão (SPEHRAR; ROCHA; SANTOS, 2011).

Em 1996, a quinoa foi classificada pela FAO como uma das culturas mais promissoras para a humanidade, tanto por suas propriedades altamente benéficas e várias utilizações, como por ser considerada uma alternativa para solucionar os sérios problemas de nutrição humana em diversas regiões do mundo (FAO, 2011). A ONU, em 2013, declarou o Ano Internacional da Quinoa, com o objetivo de estimular para que este produto fosse mais conhecido na Europa e no mundo, aumentando a visibilidade do grande potencial da quinoa e contribuir com a segurança alimentar mundial.

Os grãos de quinoa se destacam como alimento devido ao excelente equilíbrio, entre carboidratos, proteínas e lipídios encontrados em sua composição (BORGES et al., 2010). As proteínas, compostas por aminoácidos essenciais, como a lisina e metionina, com teores, comparativamente, superior à dos cereais e leguminosas, tem despertado o interesse da comunidade científica, para o potencial nutricional da quinoa.

Devido a sua composição e valor nutricional e por ser isenta de glúten, a quinoa pode ser considerada um alimento completo e altamente recomendado, especialmente para as crianças, gestantes e mulheres na menopausa, idosos e convalescentes, além de atletas, vegetarianos, diabéticos e adultos, em geral; além de se destacar como matéria prima importante na diversificação de produtos alimentícios para portadores de doença celíaca (BORGES et al., 2010; FAO, 2011; ZEVALLOS et al., 2012).

A população brasileira consome, principalmente, os cereais: arroz, trigo e milho. O consumo de quinoa é limitado, devido ao desconhecimento da população, além dos hábitos e costumes tradicionais. Os grãos de quinoa apresentam características nutricionais superiores à maioria dos cereais comumente consumidos no Brasil; o que justifica e reforça a necessidade de que sua produção agrícola e seu consumo sejam estimulados, aumentando sua inclusão como matéria-prima na indústria de alimentos (BORGES et al., 2010).

Diversos produtos podem ser derivados dos grãos de quinoa, como: pipoca de quinoa, farinha, macarrão, flocos, granola, barras energéticas (FAO, 2011), elaboração de pães (ALVAREZ-JUBETE et al., 2010), bebida fermentada (BICUDO et al., 2012), cerveja sem glúten (HAGER et al., 2014; DE MEO et al., 2011), etc. Além disso, nos últimos anos, tem aumentado o número de pesquisas em desenvolvimento de produtos que empregam a quinoa em conjunto com outros grãos (FAO, 2011). No entanto, a obtenção de produtos que aproveitam as características físico-químicas da quinoa, como por exemplo, utilizando o amido extraído de quinoa, ainda é pouco explorada (FAO, 2011). As pesquisas sobre o amido de quinoa tem-se concentrado em grãos de quinoa de cor branca, especialmente no cultivar Real (ARAUJO, 2010; TANG; WATANABE; MITSUNAGA, 2002), ou sem identificação do grão utilizado (INOUCH et al., 1999; QIAN; KUHN, 1999).

Existe uma diversidade de cores dos grãos de quinoa entre os genótipos existentes (SPEHAR, 2006) que, independentemente da cor, apresentam características distintas (REPO-CARRASCO-VALENCIA et al., 2010) como quanto aos teores de amido, proteínas, minerais, açúcares, vitaminas, saponinas, capacidade antioxidante, etc.. Essa variabilidade estimula as pesquisas na busca de cultivares que possam apresentar usos específicos na indústria de alimentos.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades físico-químicas e funcionais dos grãos de quinoa e do amido extraído de diferentes amostras, visando sua utilização tecnológica.

Os objetivos específicos foram:

1 Caracterização dos grãos de quinoa moídos por:

- Composição físico-química
- Conteúdo de compostos fenólicos e capacidade antioxidante

2 Obtenção e avaliação de características do amido proveniente das amostras de quinoa por:

- Extração do amido por método alcalino,
- Avaliação das propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação do amido
- Avaliação das propriedades de pasta do amido
- Análise da microestrutura do amido por microscopia eletrônica de varredura (MEV)
- Suscetibilidade à hidrólise enzimática

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características gerais dos grãos de quinoa

Os grãos de quinoa são estruturalmente formados por: pericarpo, episperma (testa), perisperma e embrião (radícula e cotilédones) (Figura 1). O pericarpo é rico em minerais, principalmente, cálcio e potássio (JAMES, 2008). O embrião, que contém dois cotilédones, destaca-se pela presença de 86% do total de proteína e 49% do total de lipídeos (ANDO et al., 2002); e no perisperma encontra-se o maior teor de amido (PREGO; MALDONADO; OTEGUI, 1998).

Figura 1 - Seção longitudinal mostrando o grão de quinoa. O pericarpo (PE) cobre o grão; (T) Episperma ou Testa; (C) cotilédones; (EN) endosperma; (R) radícula e (P) perisperma

Fonte: Prego; Maldonado; Otegui (1998)

A cor do grão de quinoa é resultante da combinação da coloração do pericarpo e do episperma também denominado testa (T) (BORGES et al., 2010). O pericarpo (PE) pode ser translúcido, branco, amarelo, rosa, vermelho, laranja, marrom, cinza ou preto. No episperma são encontradas as saponinas, que são um grupo de glicosídeos de plantas que formam espumas em água (DE BRUIN, 1964) e que provocam sabor amargo no grão (KOZIOL, 1991). Para remover as saponinas é utilizado um tratamento de desaponificação por lixiviação com água (método úmido) ou por remoção mecânica (método seco) ou por uma combinação dos dois métodos (REPO-CARRASCO, 1998).

As cultivares de quinoa, independentemente da cor, apresentam características de composição diferentes (DE BRUIN, 1964; REPO-CARRASCO-VALENCIA et al., 2010).

3.1.1 Composição dos grãos de quinoa

Os grãos de quinoa contêm alto valor nutricional devido à qualidade de sua proteína que apresenta uma composição desejável de aminoácidos (COMAI et al., 2007). De acordo com dados compilados por JAMES (2008), o conteúdo de proteínas nos grãos de quinoa varia de 12 a 23%, com média de 16,3% (em base seca, bs) sendo superior ao encontrado em alguns cereais, como cevada (11,0%, bs), arroz (7,5%, bs) e milho (13,4%, bs), e semelhante ao de trigo (15,4%). A suplementação de grãos de cereais com quinoa pode incrementar a qualidade proteica do produto resultante (RANHOTRA et al., 1993). A proteína da quinoa é rica em lisina, um aminoácido essencial para a dieta humana, tornando-a uma das mais completas entre muitos vegetais (JAMES, 2008) e com valores superiores aos encontrados na maioria das proteínas provenientes de fontes vegetais (RUALES; NAIR, 1992). Os teores dos aminoácidos lisina e metionina são comparativamente superior ao dos cereais e leguminosas, além de conter triptofano que geralmente é limitante em cereais (COMAI et al., 2007; RUALES; NAIR, 1992).

A quinoa é considerada como uma boa fonte de fibra dietética (10 a 16%) apresentando de 7,8 a 14,4 % de fibra insolúvel e 1,4 a 2,2% de fibra solúvel (RUALES; NAIR, 1994; REPO-CARRASCO-VALENCIA; SERNA, 2011; LAMOTHE et al., 2015). Os diferentes teores de fibra dietética total ou de seus componentes observados na literatura podem ser devido aos diferentes genótipos de quinoa avaliados, condições de produção e também pelos diferentes métodos analíticos empregados (LAMOTHE et al., 2015). Considerando-se o teor de fibra bruta, Koziol (1992) observou que nos grãos de quinoa a quantidade de fibra bruta (3,8%) foi maior do que em milho (2,3%) e trigo (2,8%) e inferior em cevada (4,4%), arroz (6,4%), feijão (5,0%), soja (5,6%) e tremoço (14,6%).

Em a relação aos carboidratos presentes nos grãos, além do amido, Ogungbenle (2003) relatou que apresentam alta proporção de D-xilose (120 mg/100 g) e maltose (101 mg/100 g), e moderadamente baixo teor de glicose (19 mg/100 g) e frutose (19,6 mg/100 g), sugerindo que tais grãos poderiam ser utilizados na elaboração de formulações de bebidas malteadas ou em alimentos infantis.

O teor de lipídeos nos grãos varia de 6,5 a 7,5% (DE BRUIN, 1964; RUALES; NAIR, 1993), com predomínio dos ácidos graxos, linoleico e oleico e a composição do perfil de ácidos graxos é similar à da soja (RUALES; NAIR, 1993).

Os grãos de quinoa contém mais riboflavina (vitamina B2) e ácido fólico que os cereais comuns, como trigo, aveia, arroz e milho (KENT, 1984 apud RUALES; NAIR, 1993).

A quantidade de alfa-tocoferol em quinoa é mais alta que em trigo; assim, sementes de quinoa pode ser uma fonte de vitamina E (KOZIOL, 1990a; RUALES; NAIR, 1993).

A quinoa apresenta minerais como magnésio, zinco, cobre, ferro, sódio, potássio (BORGES et al., 2003) e lítio (FIGUEROA et al., 2013; OGUNGBENLE, 2003). Além disso, é considerada uma importante fonte de ferro, apresentando concentrações superiores às de cevada, trigo, arroz e milho (KOZIOL, 1990a).

3.1.2 Compostos fenólicos e Capacidade antioxidante

Os compostos fenólicos são considerados nutrientes não essenciais, embora o seu consumo seja amplamente recomendado; eles estão presentes na dieta humana a partir do consumo de frutas, vegetais, bebidas e cereais (ARAUJO, 2015). A importância destes compostos está no fato de eles apresentarem capacidade de neutralizar ou inibir os radicais livres, que causam diversas doenças degenerativas; ou seja, possuem atividade antioxidante (ARAUJO, 2015; SALGADO, 2009).

O organismo humano está continuamente exposto ao ataque por radicais livres e para manter as defesas, a quantidade de antioxidantes deve ser repostada tão logo sejam consumidos (SIZER; WHITNEY, 2003). Embora o corpo humano tenha sistemas de reparo e defesas naturais que atuam contra a ação contínua dos radicais livres, esses sistemas não são completamente eficazes (WHITNEY; ROLFES, 2008).

Os compostos fenólicos possuem atividade antioxidante (ARAUJO, 2015). Frutas, vegetais e grãos são de particular interesse devido à forte atividade antioxidante exercida por componentes como antocianinas e carotenoides. Existe uma correlação linear entre os compostos fenólicos e a atividade antioxidante (PÁSKO et al., 2009).

Nos cereais a maior proporção dos compostos fenólicos está localizada na camada mais externa dos grãos (ARAUJO, 2015). Os grãos de quinoa que apresentam coloração mais escura, como a vermelha e preta, têm maior capacidade antioxidante (WALTER, 2009). Pásko et al. (2009) observaram que os grãos de quinoa escuras apresentaram uma grande proporção de compostos fenólicos denominados antocianinas (PÁSKO et al., 2009). Tang et al. (2015) encontraram até 23 compostos fenólicos presentes nos grãos de quinoa, dos quais as betacianinas, principalmente betainas e isobetainas, eram responsáveis pela coloração vermelha e preta nos grãos.

A quinoa possui atividade antioxidante de 30,3 mg/100g a 59,7 mg/100g semelhante a outros cereais como cevada (45 mg/100g) e milho (60,1 mg/100g), porém, maiores do que

arroz (13,9 mg/100g) (MATTILA, PIHLAVA, HELLSTROM, 2005 apud REPO-CARRASCO-VALENCIA et al., 2010).

3.2 Amido de quinoa e suas propriedades

A maior parte dos carboidratos presentes nos grãos de quinoa está na forma de amido, representando cerca de 60 a 70%. O amido é um carboidrato de reserva encontrado na forma de grânulos dentro dos cloroplastos e amiloplastos em diversas espécies vegetais e formado a partir da glicose produzida durante a fotossíntese (CEREDA, 2001; SIZER; WHITNEY, 2003).

Dentre os vegetais ricos em amido incluem-se os cereais como arroz, trigo, milho, centeio, cevada e aveia além de outras fontes como as leguminosas e tubérculos (WHITNEY; ROLFES, 2008). O amido além de fornecer 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem é importante para as indústrias de alimentos pelas propriedades físico-químicas e funcionais que apresenta sendo empregado como agente espessante, ligante e estabilizante de géis e emulsões (CEREDA, 2001; GONÇALVES, 2012).

Os grãos de quinoa apresentam teores de amido que variam 48,3 a 64,2% (DE BRUIN, 1964; LINDEBOOM et al., 2005). O amido de quinoa é composto por grânulos relativamente pequenos, que variam de 0,6 a 2,5 μm (ATWELL et al., 1983) localizados no perisperma (PREGO; MALDONADO; OTEGUI, 1998).

As propriedades químicas, físicas e funcionais do amido estão representadas na Figura 2 sendo importante ressaltar que existe uma estreita relação entre as mesmas. Várias dessas propriedades estarão envolvidas ao mesmo tempo quando o amido é utilizado em um determinado processo (CEREDA, 2001).

O amido é formado por moléculas de glicose ligadas entre si, por ligações glicosídicas tipo alfa (α), representado pela fórmula $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5)_n \times \text{H}_2\text{O}$ apresentando uma estrutura helicoidal formada por amilose e amilopectina (CEREDA, 2001).

3.2.1 Características químicas

A amilose é um polissacarídeo de conformação molecular linear longa, composto por 200 ou mais unidades de α -D-glicose unidas por ligações α -1,4 de D-glucopirranose. O peso molecular varia na faixa de 10^5 - 10^6 (CIACCO; CRUZ, 1982, GALLIARD, 1987; MARCON, AVANCINI, AMANTE, 2007). A molécula de amilose possui a tendência de formar hélices e girar através de diversas camadas de amilopectina (MARCON, AVANCINI, AMANTE, 2007). No interior da estrutura helicoidal são encontrados átomos de hidrogênio,

consequentemente, sendo a parte hidrofóbica permitindo que a amilose forme complexos com moléculas de ácidos graxos, iodo ou algumas moléculas de álcool (THOMAS; ATWELL, 1999). É esta propriedade da molécula de amilose que permite a formação do complexo de cor azul escuro quando em solução que reage com o iodo (KOBLITZ, 2010).

Figura 2 - Interrelações das propriedades do amido

Fonte: adaptado de CEREDA (2001)

A amilopectina é um polímero altamente ramificado composto por unidades de D-glicose, com ligações α -1,4 e α -1,6. As ligações α -1,6 são responsáveis pela ramificação da molécula. A amilopectina em contato com solução de iodo apresenta coloração avermelhada (CEREDA, 2001)

A amilose se diferencia da amilopectina devido, também, à quantidade relativa de componentes minoritários associados à molécula, visto que sua molécula se apresenta complexada com os lipídeos presentes no grânulo, influenciando nas propriedades reológicas do amido (MARCON, AVANCINI, AMANTE, 2007).

A amilose e amilopectina estão presentes em proporções variáveis nos grânulos de amido, de 20 a 35% e 70 a 80%, respectivamente, e pode variar em função das quantidades relativas, tamanho, forma de associação no grânulo; isso determina a extensão e o tipo de estrutura cristalina (AMANTE, 1986 apud MARCON, AVANCINI, AMANTE, 2007; GONÇALVES, 2012).

Os amidos mais importantes, na indústria, são extraídos de fontes como milho, batata e trigo, sendo assim a amilose e amilopectina estão em proporções diferentes de 69 a 77 % de

amilopectina e de 23-31 % de amilose. As duas moléculas representam juntas de 97 - 99% do peso seco dos amidos das fontes comerciais (GALLIARD, 1987).

Atwell et al. (1983) relataram, em um dos primeiros estudos sobre amido de quinoa, que este apresentava 11% de amilose, valor este baixo em comparação com o amido normal da maioria dos cereais. No entanto, no estudo de Lindeboom et al. (2005) avaliando amido de diferentes genótipos de quinoa, observou-se que os teores de amilose variaram de 3,5 a 19,6%, o que afeta as propriedades do mesmo.

3.2.2 Características físicas do amido

Dentre as características físicas do amido se destaca a cristalinidade, visto que nos grânulos são encontradas estruturas cristalinas e amorfas. As estruturas cristalinas apresentam padrões específicos de difração de raios-X, que podem ser classificados como tipo A, B ou C. Os amidos de cereais apresentam padrão cristalográfico do tipo A, o amido de tubérculos e amido de alta amilose o padrão tipo B e o amido de leguminosas, raízes e algumas frutas tipo C, sendo este último resultante da mistura dos padrões A e B (TESTER; KARKALAS; QI, 2004; THOMAS; ATWELL, 1999).

O padrão de difração de raios-X do amido de quinoa é do tipo A, comum em amido normal de cereais (ATWELL et al., 1983; TANG; WATANABE; MITSUNAGA, 2002).

3.2.3 Propriedades funcionais do amido

As propriedades funcionais do amido englobam a gelatinização e retrogradação, além da hidrólise e propriedades de pasta.

O processo de gelatinização é responsável pelas alterações de viscosidade nos materiais amiláceos (MARCON, AVANCINI, AMANTE, 2007). O amido aquecido em presença de água leva à ruptura da estrutura molecular dos grânulos. Este processo é irreversível sendo possível observar várias mudanças: intumescimento do grânulo, a perda da birrefringência e a perda da cristalinidade e lixiviação da amilose (ELIASSON, 2004).

A suspensão em solução aquosa do amido e o aquecimento provocam a quebra das pontes de hidrogênio, que são responsáveis por manterem o arranjo molecular dos grânulos de amido. Assim, os grupos hidroxilas das moléculas de glicose que participavam das áreas cristalinas são hidratados e o grânulo de amido incha. O processo de gelatinização do amido pode ocorrer em diversas soluções pela afinidade química dos componentes do amido, especificamente, dos grupos hidroxilas, pelo solvente (CIACCO; CRUZ, 1982).

A temperatura na qual o amido gelatiniza varia entre 52 a 77°C (Tabela 2) dependendo da origem do amido.

Tabela 2 - Temperatura de gelatinização de alguns amidos

Origem do amido	Faixa de temperatura de gelatinização (°C)
Batata (Tubérculo)	56-66
Mandioca (Raiz)	58-70
Milho (Cereal)	62-72
Trigo (Cereal)	52-63
Arroz (Cereal)	61-77

Fonte: CIACCO; CRUZ (1982)

Atwell et al. (1983) reportaram que a gelatinização do amido de quinoa, medida por calorimetria diferencial de varredura ocorreu na faixa de 57-64°C que foi similar à observada para o amido de trigo. Os estudos de Ahmed et al. (1996) mostraram que o amido de quinoa apresenta menor temperatura de gelatinização do que do amido de milho.

No estudo das propriedades térmicas do amido é possível avaliar também o processo de retrogradação. Karim; Norziah e Seow (2000) relatam que na retrogradação o gel sofre transformações que resultam em uma estrutura parcialmente cristalina, diferente da estrutura presente no grânulo de amido nativo.

Diferentemente do que ocorre com a amilose, a cristalização da amilopectina é um processo lento, continuando ao longo de um período de vários dias ou semanas. Devido às limitadas dimensões das cadeias, a estabilidade destes cristais é menor que aquela dos cristais de amilose (KARIM; NORZIAH; SEOW, 2000).

As propriedades de pasta são de grande importância, particularmente para aplicações do amido em processamento de alimentos (PEREZ, 2014). A viscosidade de pasta é uma das principais características que são avaliadas no amido e é influenciada, segundo Cereda (2001), por dois fatores: o grau de inchamento dos grânulos de amido e a resistência dos mesmos à dissolução pelo calor ou à fragmentação pela agitação mecânica.

A avaliação das propriedades de pasta do amido é atualmente realizada no RVA (Rapid Visco Analyzer), que fornece as informações, por meio das curvas de viscosidade (amilogramas), para avaliar o comportamento do amido e suas relações com as condições de processamento que incluem o aquecimento, agitação e resfriamento (MARCON, AVANCINI, AMANTE, 2007).

A partir dos amilogramas obtidos é possível avaliar as propriedades de pasta do amido durante a formação do gel, assim como a resistência do gel às forças mecânicas durante o aquecimento e a tendência à retrogradação durante o resfriamento.

O amido da quinoa apresenta maior viscosidade, maior capacidade de ligação com água, maior poder de inchamento e maior temperatura de gelatinização do que o amido de trigo, cevada ou milho (AHAMED et al., 1996; LORENZ, 1990).

Ahamed et al. (1996) avaliaram as características de pasta do amido de quinoa e observaram que o mesmo é resistente à retrogradação, sugerindo aplicações em produtos congelados, molhos, sopas cremosas, recheios de tortas, etc.

O amido pode ser hidrolisado por via química (utilizando ácidos, temperatura elevada ou pressão) ou por via enzimática (pela ação de enzimas denominadas amilolíticas). Os hidrolisados, por suas propriedades específicas e seus diferentes usos nos setores alimentícios, constituem uma opção para diferentes cereais amilolíticos. Entre os hidrolisados de amido, as modificações enzimáticas são as mais valorizadas. Originalmente, o amido modificado foi desenvolvido por processos químicos, sendo substituído aos poucos pelos métodos enzimáticos. Os hidrolisados enzimáticos são os amidos modificados comerciais mais importantes (SURMELY et al., 2003). Os produtos de conversão enzimática do amido vão da glicose a dextrinas de peso molecular elevado.

A hidrólise envolve principalmente a quebra das moléculas do amido em fragmentos de massa molecular menor (Figura 3), aumentando o número de moléculas lineares menores que as de amilose do amido nativo (POLESI, 2009).

As principais enzimas amilolíticas são: α -amilase, β -amilase, glucoamilase, isoamilase, pululanase. Cada enzima possui especificidade para uma determinada reação, por exemplo, a α -amilase, uma endocarboidrase que atua, preferencialmente, na hidrólise das ligações α -(1,4), gerando dextrinas e maltose (Figura 3) (KOBBLITZ, 2010; SURMELY et al., 2003).

Geralmente a hidrólise do amido, para produção de xarope de maltose ou de glicose, ocorre em três etapas: gelatinização, liquefação e sacarificação. Para cada etapa é necessária a presença de uma ou mais enzimas amilolíticas. Na etapa de gelatinização ocorre o intumescimento dos grânulos de amido para torna-los susceptíveis à ação das enzimas. A α -amilase bacteriana atua na liquefação hidrolisando a molécula em compostos de peso molecular menor; a sacarificação ocorre pela ação de uma β -amilase ou α -amilase fúngica que atua a partir das extremidades redutoras (EDUARDO, 2002; KOBBLITZ, 2010).

Figura 3 – Modificações do amido por via enzimática. As setas indicam os pontos de atuação das diferentes enzimas amilolíticas

Fonte: ALVAREZ (1997) apud SURMELY et al. (2003)

3.3 Consumo e utilização tecnológica da quinoa

O grão de quinoa pode ser consumido de várias formas: cozido, como salada, ou da mesma forma como se consome o arroz; em sopas e molhos (SPEHAR, 2006) (Figura 4). Também na forma de papas ou mingaus para crianças. Na alimentação de humanos adultos, a quinoa faz parte de diversos pratos, nos quais contribui com o aumento da qualidade alimentar e sabor típico; e, também, como alimento de idosos e convalescentes e utilizados em dietas especiais para pacientes celíacos, pessoas alérgicas ao glúten (SPEHAR, 2002). Portanto, as possibilidades de aproveitamento da quinoa em alimentos industrializados aumentam com a diversificação de suas formas de utilização.

Devido às propriedades da quinoa e do amido de quinoa é possível obter, a partir destes: polímeros e filmes biodegradáveis (AHAMED et al., 1996), produtos extrusados e snacks pré-fritos (AHAMED et al., 1997), pastas e macarrão sem glúten (CAPERUTO; AMAYA-FARFAN; CAMARGO, 2001), produtos para alimentação infantil (RUALES; NAIR, 1992), produtos de panificação como pão sem glúten (ALVAREZ-JUBETE et al., 2010), pães enriquecidos, panqueca e biscoitos (SPEHAR, 2006), bebidas como sucos e bebidas alcoólicas fermentadas (HAGER et al., 2014).

Figura 4 – Usos possíveis para quinoa

Fonte: SPEHAR (2003) apud SPEHAR (2006)

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, em Piracicaba – SP.

4.1 Obtenção das amostras de quinoa

As amostras de quinoa utilizadas foram: três cultivares provenientes do Instituto Nacional de Investigação Agrária do Peru, duas amostras (sem identificação) obtidos no comércio da cidade de Arequipa do Peru e uma cultivar brasileira, da produção da Fazenda da Universidade Federal de Brasília. O código de identificação das amostras está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Identificação das amostras de quinoa

QUINOA			
Código	Cultivar	Cor do grão	Procedência
VPP	Pasankalla INIA	Vermelha	Peru
VCP	*	Vermelha	Peru
PNP	Negra Collana INIA	Preta	Peru
PCP	*	Preta	Peru
BSyB	BRS Syetetuba	Branca	Brasil
BSaP	Salcedo INIA	Branca	Peru

* amostra comercial

4.2 Preparo das amostras de quinoa

Os grãos de quinoa foram lavados com H₂O destilada (37°C) na proporção 1:2 (quinoa:H₂O), para retirada das saponinas. Os grãos permaneceram imersos em H₂O sob agitação manual durante 20 minutos e, em seguida, foram enxaguados. Esse procedimento foi realizado duas vezes e, em seguida, os grãos foram secos a 37°C durante 12 horas. Os grãos secos foram armazenados em sacos de polipropileno em câmara fria (10°C) até o momento da utilização.

Os grãos, previamente lavados, foram triturados em moinho de martelo (Marconi, modelo MA-090), com peneira de 20 mesh (0,841 mm) para obtenção da quinoa moída.

A quinoa moída foi caracterizada quanto à composição físico-química, cor, teor de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante. O esquema do estudo está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema geral de condução dos ensaios

4.3 Extração do amido de quinoa

O amido das amostras de quinoa foi extraído de acordo com o procedimento utilizado por Araujo-Farro et al. (2010), com modificações (Figura 6). Os grãos de quinoa previamente lavados e secos foram macerados em H₂O destilada a 3°C, na proporção grão: H₂O (1:2) durante 12 horas. Em seguida foram triturados em liquidificador e o material triturado foi passado pelas peneiras de 80 mesh (177 µm) e 325 mesh (44 µm). O material retido nas peneiras foi lavado com água destilada, repetindo-se o procedimento por 5 vezes.

O amido do material filtrado foi isolado por centrifugação (600 g, 20 min, 4°C). O amido bruto obtido foi ressuspenso com água destilada, centrifugado (2000 g, 15 min, 10°C), a camada superior, de coloração escura, contendo proteína e fibra foi removida com o auxílio de uma espátula. Esse procedimento foi repetido por 5 vezes para a retirada total da camada superior. O amido obtido foi ressuspenso em solução a 0.2 % de NaOH (pH=10,5) e agitado gentilmente por 5 minutos em banho a 15°C. Em seguida, a suspensão foi

centrifugada, ressuspensa em água destilada e cuidadosamente neutralizada pela adição de solução de HCl 1 M. Após a centrifugação o amido obtido foi ressuspensa em água destilada, repetindo-se esse procedimento por 5 vezes para remover o residual de material proteico na camada superior. O amido purificado foi seco em estufa com circulação de ar a 37°C por 12 horas e, em seguida, moído em almofariz e passado pela peneira de 60 mesh (250 µm).

O amido purificado foi caracterizado quanto a composição físico-química, propriedades viscoamilográficas e térmicas, cor e susceptibilidade enzimática (Figura 5).

Figura 6 - Fluxograma para extração do amido de quinoa

Fonte: Adaptado de Araujo-Farro et al. (2010)

4.4 Metodologia analítica

4.4.1 Determinação do teor de saponinas

O conteúdo de saponinas nos grãos das amostras de quinoa foi avaliado pelo método semi-quantitativo da espuma (KOZIOL, 1990b). O método é baseado nas propriedades tensoativas das saponinas que quando dissolvidas em água e agitadas formam uma espuma estável, cuja altura está relacionada com o teor de saponinas nos grãos. A porcentagem de saponinas foi obtida com a equação 1.

$$\text{saponinas (\%)} = \frac{0,646 * (\text{altura em cm da espuma}) - 0,104}{(\text{peso da amostra em g}) * (10)} \quad (1)$$

4.4.2 Classificação por tamanho dos grãos de quinoa e Peso de mil grãos

Os grãos de quinoa secos, após a retirada das saponinas, foram classificados por tamanho de acordo com o método empregado por Araujo-Farro (2008), com modificações. Para tanto foram empregadas o conjunto de peneiras de 12, 14 e 20 Tyler/mesh, o que corresponde a aberturas de tamanho 1,41 mm; 1,19 mm; 0,84 mm respectivamente. Em seguida, as quantidades retidas em cada peneira foram pesadas e expressas em percentagens. Além disso, para a determinação do peso de mil grãos, de cada amostra avaliada foram contados, manualmente, 100 grãos inteiros sem impurezas, em 8 repetições, de acordo com a metodologia descrita em Brasil (2009). Após a pesagem empregando a balança analítica foram calculados a média, desvio padrão e coeficiente de variação das medidas realizadas. O resultado de mil grãos foi calculado multiplicando-se por 10 o peso médio das repetições, se o coeficiente de variação foi menor que 4%. Como o peso de mil grãos de uma amostra varia de acordo com o teor de umidade (BRASIL, 2009) os resultados obtidos foram padronizados para 10% de umidade, que foi a umidade média obtida dos grãos no momento da avaliação.

4.4.3 Avaliação da cor

A cor dos grãos de quinoa e do amido extraído das amostras foi avaliada em colorímetro (Chroma meter Minolta, 200b) pelo sistema Hunter-Lab. Esse sistema apresenta 3 coordenadas: L, que determina e quantifica luminosidade, e varia de 0 (preto) a 100 (branco); a coordenada a*, quantifica a variação das cores verdes (-; valores negativos) para o vermelho (+; valores positivos) e a coordenada b* quantifica a variação da cor azul (-) para o amarelo (+) (MORITZ, 2011). O equipamento foi calibrado com a placa de calibração padrão fornecida pelo fabricante do equipamento. As amostras foram transferidas para placa de Petri

(diâmetro de 6 cm), numa quantidade suficiente para cobrir completamente o fundo da mesma. De cada amostra foram avaliadas quatro sub-amostras de grãos (GROOS et al., 2002) e 1 de amido, sendo obtidos 4 leituras para cada sub-amostra de grãos (total de 16 leituras) e 5 leituras para a amostra de amido. O resultado médio e desvio padrão foram calculados.

O ângulo Hue (H) é o valor em graus correspondente ao diagrama tridimensional de cores: 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul) foi calculado de acordo com a Equação 2 e a saturação (Croma C) pela Equação 3.

$$H_{ab} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

$$Croma \ C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

4.4.4 Composição físico-química dos grãos de quinoa e do amido

As amostras dos grãos de quinoa moídos e do amido de quinoa obtido foram avaliadas quanto à umidade empregando o equipamento Moisture Analyzer (AND, modelo MX-50). Os teores de cinzas (calcinação em mufla a 550°C por duas horas), de lipídeos (extração com éter etílico utilizando extrator Soxhlet) e de proteína bruta (método de Kjeldhal e fator de 6,25 para conversão do teor de nitrogênio total) foram determinados de acordo com os métodos descritos pela AOAC (2006). O teor de fibras dietética total nos grãos moídos foi avaliado utilizando uma combinação de método enzimático e gravimétrico (AOAC, 2006) e o teor de amido pelo kit Megazyme Total Starch (AA/AMG) K-TSTA 09.

Os macrominerais fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e os microminerais ferro, zinco, cobre, manganês, alumínio, sódio, e lítio foram determinados pela metodologia baseada na AOAC (2006). Para todos os elementos foi empregada a digestão nitro-perclórica, exceto para o boro, que foi extraído por digestão seca em mufla; a quantificação dos elementos foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica, o lítio foi quantificado em espectrômetro de massas com plasma acoplado (ICP-MS). Os resultados foram expressos em mg/100 gramas de produto em base seca.

4.4.5 Determinação de compostos fenólicos

Os extratos hidroalcoólicos foram obtidos de acordo com a metodologia de Repo-Carrasco et al. (2010), com modificações. Uma amostra contendo 5 g de quinoa moída foi dissolvida em 20 mL de etanol a 95%. Após homogeneização por 1 minuto, as amostras

foram mantidas a -4°C por 18 horas. A seguir, os extratos foram centrifugados a 29000 g durante 20 minutos, em centrífuga refrigerada a 4°C (Eppendorf – 5810 R, Hamburgo, Alemanha) e filtrados em papel de filtro tipo Whatman n. 2 e armazenados sob refrigeração a 7°C em frascos âmbar até o momento da análise.

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado, de acordo com o método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTOS, 1999) utilizando o ácido gálico como padrão.

Alíquotas de 0,5 mL do extrato hidroalcoólico foram transferidas para tubos de ensaio, onde, foram adicionados 4 mL de H₂O destilada e 0,5 mL da solução de Folin-Ciocalteu. Os tubos foram agitados em Vortex permanecendo em repouso por três minutos. Após adição de 0,5 mL da solução de carbonato de sódio 4% (m/v), os tubos foram agitados em vortex e mantidos em repouso por duas horas a temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Imediatamente depois a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (FEMTO 700S a 740 nm). A curva analítica foi obtida utilizando concentrações conhecidas de (0 a 0,05 mg/mL) de ácido gálico. A expressão dos resultados foi em mg de ácido gálico (GAE)/g matéria seca (bs).

4.4.6 Avaliação da Capacidade antioxidante

A avaliação da capacidade antioxidante foi realizada utilizando as metodologias de DPPH e ABTS.

4.4.6.1 Método DPPH (1,1-difenil-2-picril hidrazil)

A capacidade antioxidante dos extratos hidroalcoólicos de quinoa foi analisada conforme a metodologia proposta por Brand-Williams; Cuvelier e Berset (1995). Este método é baseado na redução do radical DPPH. Uma alíquota de 500 µL da amostra foi transferida para tubos de ensaio contendo 3 mL de etanol 95% e 300 µL da solução DPPH. A solução foi mantida ao abrigo da luz por 45 minutos. Imediatamente após foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 515 nm. Os resultados da capacidade antioxidante em equivalentes de trolox (TEAC), foram obtidos com a equação 4 e expressos como µmol TEAC/g matéria seca. Para a curva padrão foi obtida utilizando o trolox nas concentrações de 5 a 50 µmol.

$$DPPH \text{ reduzido (\%)} = \frac{Abs \text{ branco} - Abs \text{ amostra}}{Abs \text{ branco}} * 100 \quad (4)$$

4.4.6.2 Método ABTS (2,2-azino-bis-3etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico)

A determinação da capacidade antioxidante pela metodologia proposta por Re et al. (1999) é fundamentada na redução do radical ABTS. Uma alíquota de 30 µL do extrato hidroalcoólico de quinoa foi transferida para tubo de ensaio contendo 3,0 mL do radical ABTS (7 mM). As soluções permaneceram em repouso, ao abrigo da luz, por 6 minutos. Imediatamente após foi realizada a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 734nm. Os resultados foram expressos em µmol TEAC/g matéria seca. Para a curva padrão foi utilizado o Trolox nas concentrações de 500 a 2000 µM. Para expressar a porcentagem de sequestro do radical ABTS foi utilizada a equação 5.

$$\text{Sequestro do radical ABTS (\%)} = \frac{\text{Abs branco} - \text{Abs amostra}}{\text{Abs branco}} * 100 \quad (5)$$

4.4.7 Determinação do teor de amilose total

O teor de amilose total foi determinado de acordo com a metodologia ISO 6647 (International Organization for Standardization, 1987). As amostras do amido das cultivares de quinoa foram previamente desengorduradas segundo a metodologia de Kasemsuwan et al., (1995). Para isso, 0,4 g (bs) de amido foram dispersas em 20 ml de solução de dimetilsulfoxido 90 % (DMSO), e aquecidas sob agitação em banho de água fervente (100°C) durante 1 hora. Após resfriamento, o amido foi precipitado com 60 mL de etanol absoluto e separado por centrifugação (1600 g, 15 min.). O precipitado foi disperso em etanol absoluto, evitando-se que se formassem grumos, filtrado a vácuo e seco em estufa, a 35-40°C, durante 24 horas. Como não foi possível determinar a umidade das amostras obtidas devido à pequena quantidade de material, antes da determinação de amilose, todas as amostras foram colocadas em estufa, a 35-40 °C, por 12 horas para homogeneização da umidade das amostras e para que assim os resultados pudessem ser comparados entre si.

Para determinação de amilose em 100 mg do amido desengordurado adicionou-se 1 mL de etanol 95% e 9 mL de NaOH 1 M e a solução foi aquecida em banho de água fervente, por 10 minutos. Após o resfriamento, transferiu-se para balão volumétrico de 100 mL completando-se o volume com H₂O destilada. Uma alíquota de 18 mL foi transferida para tubo de ensaio de 50 mL que continha 2 mL de NaOH 0,09N. Foi retirada uma alíquota de 5 mL e transferida para balão volumétrico (100 mL) contendo 50 mL de H₂O destilada. Após 20 minutos, realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 620 nm. Foram realizadas curvas padrões de amilose (SIGMA Tipo III A-0512) e amilopectina (SIGMA A-8515). Nas

concentrações de (0; 0,5; 1; 1,5; 2) mg/mL. O teor de amilose foi calculado empregando a equação 6:

$$\% \text{ Amilose} = \frac{Abs \times K \times 100}{P} \quad (6)$$

Onde:

Abs = Absorbância da amostra

K = constante da curva analítica (obtida pelos dados da curva)

P = peso final da amostra (mg)

4.4.8 Difração de raios X e cristalinidade relativa

As amostras de amido das cultivares de quinoa permaneceram em dessecador contendo solução de BaCl₂ (25° C, aw = 0,9) por período de 10 dias para padronização da umidade antes da realização da análise. As amostras foram submetidas ao difrator de raios-X (Miniflex II, Rigaku Corp., Tokyo, Japão) com radiação de Cu para obter os perfis de difração. Os parâmetros de trabalho foram: velocidade de varredura de 2°/ min, sob ângulo 2θ variando de 4° a 50°, corrente de 15mA e voltagem de 30kV. Foram utilizados os padrões de Zobel (1964) para a classificação dos perfis de difração de raios X.

A ferramenta Adjacent Averaging, do programa computacional *Origin*, versão 7.5 (Microcal Inc, Northampton, EUA), foi empregada para obter e suavizar os gráficos que foram plotados entre os ângulos 2θ. A Figura 7 apresenta a curva conectando as bases dos picos que foram plotados para obter os difratogramas. A área cristalina corresponde à área entre a curva e o difratograma e a área amorfa corresponde à área entre a curva e a base linear do difratograma. A razão entre a área cristalina e a área total obtidas do difratograma corresponde à cristalinidade relativa, conforme metodologia de Nara e Komiya (1983).

Figura 7 - Difratograma de raios-X de amido de quinoa, a seção hachurada corresponde à área amorfa (Aa) e a seção entre o limite superior da parte hachurada e o gráfico corresponde à área cristalina (Ac)

4.4.9 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas de gelatinização e retrogradação do amido, das cultivares estudadas de quinoa, foram determinadas, em triplicata, empregando-se o Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC-Pyris1, Perkin Elmer, EUA) de acordo com a metodologia descrita por Franco et al. (2002), com modificações. Nos recipientes de alumínio próprios do equipamento foram pesados 2 mg (bs) do amido obtido das amostras de quinoa. Após a adição de 6 µL de água deionizada aos recipientes, os mesmos foram selados, empregando prensa universal (Perkin Elmer, EUA). Um recipiente de alumínio vazio foi utilizado como referência. Os recipientes selados foram mantidos por 12h em temperatura ambiente e em seguida aquecidos de 25 a 100°C, a uma razão de 10°C/min. Os recipientes de alumínio contendo as amostras de amido gelatinizado foram armazenados por 14 dias a 5°C e, então, foram analisadas as propriedades térmicas dos amidos retrogradados no mesmo aparelho e parâmetros. Com base nos termogramas foram obtidos, para os fenômenos de gelatinização e retrogradação, os valores de temperaturas de transição: inicial (Ti), de pico (Tp), final (Tf) além da faixa de temperatura ($\Delta T = T_f - T_i$) e a variação de entalpia (ΔH).

4.4.10 Propriedades viscoamilográficas do amido de quinoa

As propriedades de pasta do amido de quinoa foram avaliadas, em triplicata, empregando-se o Rápido Viscoanalizador (RVA- Super 4, Newport Scientific, Austrália) e programa de computador “Thermocline for Windows” (versão 3.0, Newport Scientific, Warriewood, Austrália) utilizando-se como padrão de corrigida o teste número 1 (QIAN; KUHN, 1999) pesou-se 3g da amostra (corrigido para 14% de umidade) e 25 g de H₂O destilada, empregando-se o aparelho Rapid Visco Analyzer (R.V.A.) série 4.0 da Newport Scientific e programa de computador “Thermocline for Windows” utilizando-se a programação *Standard Analysis 1* cujas condições estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados na determinação das propriedades de pasta do amido utilizando o Rapid Visco Analyser (RVA)

TEMPO (hora:minuto:segundo)	TIPO	VALOR
00:00:00	Temperatura	50°C
00:00:00	Velocidade	960 rpm
00:00:10	Velocidade	160 rpm
00:01:00	Temperatura	50°C
00:04:42	Temperatura	95°C
00:07:12	Temperatura	95°C
00:11:00	Temperatura	50°C
00:13:00	Fim	-

Os resultados foram interpretados a partir dos gráficos fornecidos pelo programa onde os parâmetros avaliados, representados na Figura 8 foram: temperatura de pasta, temperatura (°C) na qual a viscosidade sofre o primeiro aumento de 2 rvu/20segundos; viscosidade máxima, corresponde ao pico desenvolvido durante a fase de aquecimento; tempo de viscosidade máxima, tempo em minutos onde ocorre o pico de viscosidade; viscosidade mínima ou viscosidade da pasta quente, é a menor viscosidade após o pico de viscosidade; viscosidade de quebra (breakdown), é a diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima; viscosidade final, é a viscosidade final do teste; retrogradação (setback), é a diferença entre a viscosidade final e a viscosidade mínima após o pico de viscosidade

Figura 8 - Curva viscoamilográfica de uma amostra de amido de quinoa, obtida pelo RVA, com identificação dos parâmetros avaliados

4.4.11 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Os grânulos de amido foram observados por meio do microscópio eletrônico de varredura (ZEISS, DSM 940 A), sob 5 Kv de voltagem e 80 mA de amperagem. As amostras dos amidos foram mantidas em dessecador por 2 dias e depois foram fixadas em suportes (stubs), e cobertos com uma camada de ouro em metalizador BAL -TEC SCD 050 por um tempo de 220 segundos.

4.4.12 Susceptibilidade à hidrólise enzimática

A análise de hidrólise enzimática foi determinada empregando as metodologias de Zhang e Hamaker (1998) e de Benmoussa et al. (2006), com modificações. Amostras contendo 200 mg (bs) de amido, em triplicata, foram ressuspensas em 5 mL de H₂O destilada e levados a ebulição por 20 minutos. Após resfriamento a 40°C, foi adicionado uma solução contendo 5 unidades/mL da enzima α -amilase pancreática de suíno (SIGMA, TYPE VI-B, A-3176) em tampão glicerol fosfato de sódio a pH 6,9; as amostras foram incubadas em banho-maria a 37 °C. Alíquotas de 1 mL foram retiradas em diferentes intervalos de tempo (10, 20, 40, 60, 90 e 120 min.). A reação foi paralisada em banho-maria fervente por 10 minutos e em seguida, a concentração de açúcar redutor foi determinada utilizando o método por ácido 3,5-dinitrosalicílico-DNS (MILLER, 1959). Os resultados foram expressos em concentração de açúcar redutor, utilizando uma curva analítica preparada com solução de glicose 1 mg/mL e

também com solução de maltose 2 mg/mL. A curva analítica foi obtida utilizando concentrações conhecidas de (0 a 1 mg/mL) de glicose ou 0 a 2mg/mL de maltose.

4.5 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao Teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação de médias utilizando o sistema estatístico SAS versão 9.3 (SAS, 2003). As médias dos valores e os desvios padrões foram reportados.

5 RESULTADOS

As amostras de grãos de quinoa, procedente do Peru e do Brasil, foram utilizadas neste trabalho. A caracterização dos grãos de quinoa e as características do amido extraído dos grãos de quinoa estão apresentados a seguir.

5.1 Caracterização dos grãos de quinoa

Os grãos de quinoa das diferentes amostras foram avaliados quanto ao teor de saponinas, antes e após a desaponificação (Tabela 5). Os grãos apresentaram teor inicial de saponinas $\leq 0,04\%$ (bs), exceto para a cultivar BSyB que apresentou teor de $0,34\%$ (bs). A BSyB foi considerada como isenta de saponina por Spehar; Rocha; Santos (2011), diferentemente do observado neste estudo. Essa variação em um mesmo cultivar, também foi observada por Koziol (1992), que sugeriu como possível explicação as diferentes condições ambientais de produção dos grãos ou as diferentes metodologias empregadas para determinação das mesmas. Após a desaponificação, o teor de saponinas foi de $0,01\%$ (bs) para a BSyB e 0% para as demais amostras. Segundo Koziol (1992, 1993) embora as saponinas sejam os principais fatores antinutricionais do grão de quinoa, podem ser removidas pela desaponificação úmida ou abrasiva atingindo teores que não excedem $0,01\%$ pelo fato de tais substâncias estarem concentradas nas camadas externas dos grãos.

Tabela 5 - Teor de saponinas nas amostras de grãos de quinoa antes e após desaponificação

Amostras de quinoa ²	Teor de saponinas ¹ (% , bs)	
	Inicial	Após desaponificação
VPP	$0,00 \pm 0,01^b$	$0,00 \pm 0,00^b$
VCP	$0,03 \pm 0,01^b$	$0,00 \pm 0,00^b$
PNP	$0,01 \pm 0,01^b$	$0,00 \pm 0,00^b$
PCP	$0,00 \pm 0,00^b$	$0,00 \pm 0,00^b$
BSyB	$0,34 \pm 0,17^a$	$0,01 \pm 0,00^a$
BSaP	$0,04 \pm 0,01^b$	$0,00 \pm 0,00^b$

¹ Média de triplicata $\pm$ desvio padrão, em base seca (bs)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade

² VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

A classificação por tamanho dos grãos está apresentada na Tabela 6 onde se pode observar que para as cultivares de coloração vermelha e branca o maior percentual de grãos

(78,2 a 86,2%) apresentou tamanho > 1,41 mm, enquanto mais de 80% dos grãos das cultivares de coloração preta apresentaram tamanho menor que 1,41mm.

Tabela 6 - Distribuição dos grãos de quinoa por tamanho e peso de mil grãos padronizados a 10% de umidade das amostras avaliadas

Tyler (mesh) / Abertura (mm)	Fração (%) / Peso de mil grãos (g)					
	VPP	VCP	PNP	PCP	BSyB	BSaP
12/1,41	86,2	83,9	12,6	19,6	78,2	85,7
14/1,19	13,4	13,9	81,0	74,7	21,2	13,7
20/0,84	0,4	2,2	6,4	5,4	0,4	0,4
Fundo < 0,84	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,2
Peso de mil grãos (g)	3,71c ±0,061	4,11a ±0,086	2,30e ±0,073	2,06f ±0,048	3,88b ±0,060	3,12d ±0,089
Peso de mil grãos (CV, %)	1,6	2,1	3,2	2,3	1,6	2,9

VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

O peso de mil grãos das amostras avaliadas está apresentado na Tabela 6. As amostras de grãos vermelhos e brancos apresentaram peso variando de 3,1 a 4,1 g, sendo que os valores acima de 3,0 g por mil grãos são considerados grãos grandes (SPEHAR; ROCHA; SANTOS, 2011), esta é uma característica desejável no crescente mercado desses grãos. As amostras de grãos pretos apresentaram os menores grãos ($p \leq 0,05$). O aspecto geral dos grãos de quinoa das amostras estudadas, mostrando os diferentes tamanhos, está apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Aspecto geral dos grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), amostras: VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

Fonte: Arquivo pessoal

5.1.1 Cor dos grãos de quinoa

A cor dos alimentos é um parâmetro importante a ser avaliado pelos consumidores. Sendo assim um fator decisivo no momento da comercialização de grãos (ALENCAR, FARONI; 2011). As amostras de quinoa estudadas apresentam diferentes cores nos grãos. As amostras estudadas, visualmente, foram vermelha, preta e branca (Figura 10).

Figura 10 – Cor dos grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Amostras: VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

Fonte: Arquivo pessoal

A Tabela 7 apresenta os resultados dos parâmetros avaliados de cor dos grãos de quinoa das amostras avaliadas. Na literatura consultada não foram encontradas avaliações de cor dos grãos de quinoa para efeito de comparações.

Tabela 7 - Luminosidade (L), croma (a), croma (b), croma (C) e ângulo hue (H°) dos grãos de quinoa

Amostras	L	a	b	Croma (C)	H°
VPP	33,4 ± 1,4 ^c	16,2 ± 1,2	25,4 ± 2,8	30,2 ± 2,9 ^a	57,4 ± 1,5 ^b
VCP	30,8 ± 1,5 ^d	18,9 ± 0,9	22,1 ± 2,1	29,1 ± 2,1 ^a	49,4 ± 1,7 ^c
PNP	14,1 ± 1,8 ^e	7,33 ± 1,5	4,9 ± 0,9	8,8 ± 1,7 ^c	34,2 ± 4,4 ^e
PCP	13,2 ± 2,6 ^e	6,9 ± 1,6	5,7 ± 1,5	9,1 ± 1,6 ^c	39,4 ± 9,3 ^d
BSyB	66,0 ± 0,9 ^b	2,9 ± 2,7	23,1 ± 0,7	23,2 ± 0,7 ^b	82,8 ± 0,5 ^a
BSaP	76,1 ± 1,2 ^a	2,1 ± 0,3	24,8 ± 1,0	24,9 ± 1,0 ^b	85,3 ± 0,7 ^a

Média de 4 repetições ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade.

VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

O ângulo Hue (H°) determina a cor; os valores observados para H° (acima de 80) sugerem que as amostras consideradas de coloração branca, poderiam ser classificadas com tendência a amarelo. As diferenças observadas quanto ao H°, entre os grãos de mesma cor, amostras VPP e VCP e PNP e PCP, pode ser devido às amostras comerciais (VCP e PCP), não serem padronizadas. Com relação à Cromaticidade (C), que representa a intensidade de cor, entre as amostras de mesma cor não foi observado diferença estatística.

5.1.2 Composição físico-química dos grãos de quinoa

Os resultados de composição físico-química dos grãos de quinoa estão apresentados na Tabela 8. A umidade das amostras variou de 8,3 a 11,2%, abaixo dos 12%, recomendado para o armazenamento dos grãos de quinoa, segundo Spehar (2006).

O principal componente encontrado no grão de quinoa foi o amido, com 47,2 a 59,7%, (bs); as amostras de cor preta apresentaram os menores valores de amido e a variedade branca proveniente do Peru, o teor mais elevado ($p < 0,05$). De Bruin (1964) avaliou a composição de grãos de quinoa com coloração vermelha, amarela e branca e observou que embora existissem outros carboidratos, o principal componente foi o amido, variando de 58,1 a 64,2% e, as amostras de cor branca apresentaram os teores mais elevados de amido.

No estudo de Lindeboom (2005), no qual 16 linhagens de grãos de quinoa foram avaliadas, o teor de amido variou de 48,3 a 62,5 % (bs), no entanto, o autor não diferenciou os grãos pela coloração como nesse estudo.

Tabela 8 - Composição físico-química dos grãos de quinoa¹

Amostras de quinoa	Cinzas (% bs)²	Proteínas (% bs)	Lipídeos (% bs)	Fibra dietética total (% bs)	Amido (% bs)
VPP	2,51±0,02b	14,0±0,32b	7,33±0,11a	14,3±0,01b	56,02±0,03b
VCP	2,58±0,02b	12,5±0,57b	6,70±0,14b	13,9±0,06b	54,56±0,01d
PNP	2,96±0,10a	14,1±0,07b	6,67±0,10b	18,2±0,00a	49,25±0,07e
PCP	3,01±0,09a	14,0±0,17b	7,34±0,11a	19,7±0,22a	47,22±0,09f
BSyB	2,32±0,01c	16,9±0,21a	6,84±0,08b	8,70±1,67c	55,39±0,05c
BSaP	2,36±0,02c	13,7±0,11b	7,29±0,03a	10,5±0,45c	59,72±0,05a

¹ Média de triplicata ± desvio padrão, exceto amido, duplicata

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade.

² Porcentagem em base seca

VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

O teor de proteínas nos grãos das amostras estudadas variou de 12,5 a 16,9% (bs) semelhante aos observados por Miranda et al. (2012); Ando et al. (2002) e Ruales e Nair, (1992). A cultivar BSyB apresentou o maior teor de proteínas ($p < 0,05$) e as demais amostras não apresentaram diferença significativa entre si.

Quanto ao teor de cinzas, as amostras de cor preta apresentaram os valores mais elevados, em torno de 3% ($p < 0,05$), seguidas pelas amostras vermelhas e as brancas. Estes valores foram semelhantes aos encontrados por Repo-Carrasco-Valencia et al. (2010), para as cultivares VPP (2,5%) e BSaP (2,4%); os valores observados por Lindeboom (2005), comparando 3 cultivares de quinoa, variaram de 2,1 a 3,5%, bs.

O teor de lipídeos no grão variou de 6,7 a 7,3% (bs) com diferença significativa entre as amostras de mesma cor. Repo-Carrasco-Valencia et al. (2010) reportaram valores na faixa de 5,2 a 6,8% para cultivares brancas, pretas e vermelhas, por sua vez, Ando et al. (2002) encontraram 6,5% de lipídeos para grãos inteiros de quinoa da cultivar Real, que apresenta grãos de coloração branca. O conteúdo de lipídeos em grãos de quinoa é superior aos demais cereais como o arroz, milho, trigo e cevada, que apresentam 2,2%, 4,7%, 2,3% e 1,9%, respectivamente (KOZIOL, 1992).

As variações nos teores de proteínas, lipídeos, cinzas e fibras entre as amostras de quinoa podem ser atribuídas ao local de produção (clima, solo, temperatura, manejo) e às características genéticas das cultivares (REPO-CARRASCO-VALENCIA; SERNA, 2011; LINDEBOOM, 2005).

Quanto a fibra alimentar, denominada também fibra dietética total, houve diferença significativa entre as amostras; os valores variaram de 8,7 a 19,7% (bs). As duas amostras brancas apresentaram os menores valores de fibra alimentar, seguidas das duas amostras vermelhas.

5.1.3 Teor de minerais

Todos os minerais são importantes em uma dieta, não existindo um grupo mais importante que o outro. Os macrominerais são assim denominados pelo fato de serem requeridos em quantidades maiores no organismo (WHITNEY; ROLFES, 2008).

Os teores de macro e microminerais nos grãos variam devido ao tipo de solo onde são cultivados, considerando-se a composição mineral do mesmo e adubações realizadas, além disso, as características genéticas dos grãos também influenciam a composição de minerais (VEGA-GÁLVEZ et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2014).

Nos grãos de quinoa, das amostras estudadas, foram obtidos, em maior quantidade, os macrominerais potássio e fósforo, embora tenha sido observado a presença de cálcio, magnésio e enxofre (Tabela 9).

Tabela 9 – Teores de macrominerais nas amostras de grãos de quinoa

Amostras	Macrominerais ¹ (mg/100 g, bs)				
	P	K	Ca	Mg	S
VPP	578±13,4a	699±0,7b	73±2,8b	243±7,1bc	185±4,9a
VCP	588±13,4a	593±4,9c	109±0,0a	264±4,9a	174±4,9ab
PNP	512±14,1b	815±33,2a	71±7,1b	226±6,4cd	158±14,1ab
PCP	490±7,1b	693±1,4b	118±1,4a	246±0,0ab	144±0,7b
BSyB	510±12,0b	559±9,9c	69±4,9b	239±4,9bcd	177±16,2ab
BSaP	492±4,2b	663±0,7b	77±1,8b	220±1,4d	164±2,1ab

¹ Média de duplicata ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade.

VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Syetetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

O teor de fósforo (P) nas amostras variou de 490 a 588 mg/100g (bs) e as amostras com grãos de cor vermelha (VPP e VCP) apresentaram os maiores teores diferindo estatisticamente das demais. No banco de dados de referência¹ do United States Department

¹ National nutrient database for standard reference (USDA, 2015)

of Agriculture (USDA, 2015) é reportado 457 mg/100g e o teor observado por Nascimento et al. (2014) foi de 468 mg/100 g. O teor de P presente nos grãos de quinoa é superior ao encontrado em milho (210 mg/100 g), trigo (323 mg/100 g), arroz (95 mg/100 g) e cevada (221 mg/100 g) (USDA, 2015).

O teor de potássio (K), entre as amostras, variou de 559 a 815 mg/100 g com diferença significativa entre as amostras; o maior teor de K foi observado na amostra PNP. Os valores observados na literatura para teores de potássio em grãos de quinoa variam de 563 a 1201 mg/100g (ANDO et al, 2002; RUALES; NAIR, 1993; USDA, 2015). A quinoa apresenta teores mais elevados de K que outros cereais e pseudocereais de interesse (milho, trigo, arroz e cevada) (USDA, 2015) e amaranto (NASCIMENTO et al., 2014). A contribuição nutricional de potássio em 100 g de quinoa é de 18% da ingestão diária recomendada para a dieta infantil e de 22% para adultos (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 2004 apud JAMES, 2008). O potássio e o fósforo representam em média 65% do total de minerais nos grãos de quinoa (DE BRUIN, 1964).

O teor de cálcio (Ca) variou entre 69 e 118 mg/100 g e as amostras VCP e PCP, apresentaram os ($p < 0,05$) teores mais elevados. Os valores encontrados neste trabalho são maiores que os reportados por USDA (2015), que apresenta o teor de 47 mg/100 g e por Nascimento et al. (2014) (44 mg/100 g). No entanto, Ando et al. (2002) observaram que a cultivar Real, cultivada na Bolívia apresentou 123,1 mg de Ca/100 g e que a maior porcentagem de cálcio está no pericarpo seguido do embrião e perisperma, por esse motivo o processo de desaponificação por abrasão diminui a porcentagem deste mineral (KONISHI et al., 2004).

A presença de magnésio (Mg) na quinoa variou de 220 a 264 mg/100 g, com diferença significativa entre as amostras. Valores reportados na literatura foram de 197 mg/100 g (USDA, 2015), 250 mg/100 g (KOZIOL, 1992) e 502 mg/100 g (KONISHI et al., 2004). O magnésio está distribuído em diferentes frações do grão: no pericarpo (958,3 mg/100 g), embrião (750,2 mg/100 g) e perisperma (215,2 mg/100 g) em diferentes proporções (ANDO et al., 2002).

O magnésio juntamente com outros minerais como ferro, manganês e cobre quando presentes em 100 g de quinoa suprem 100% da ingestão diária recomendada para uma dieta infantil e de adultos (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 2004 apud JAMES, 2008).

O teor de enxofre nos grãos de quinoa variaram de 144 a 185 mg/100 g e apenas as amostras VPP e a PCP apresentaram diferença significativa entre si, apresentando o maior e o

menor teor, respectivamente. Sizer e Whitney (2003) afirmam que não existe ingestão recomendada para o enxofre, e que deficiências deste mineral não são conhecidas.

Em relação aos microminerais avaliados (Tabela 10) foi observado que o teor de ferro das amostras variou de 4,7 a 17,2 mg/100 g. A amostra PCP foi a que apresentou o maior teor de ferro, no mínimo, o dobro em relação às demais avaliadas. No estudo de Ballon et al. (1984), avaliando 15 diferentes cultivares de quinoa, foi observado valores de 10 a 47,6 mg/100 g, evidenciando a grande variação que pode existir entre as diferentes amostras de grãos de quinoa, assim como nesse estudo. Nascimento et al. (2014) relataram 5,5 mg de Fe /100 g e nos dados do USDA (2015) o valor é de 4,6 mg/100 g, estes teores são três vezes maiores que os encontrados em alguns cereais como a cevada (2,5 mg/100 g) e arroz (0,8 mg/100 g), apresentados na mesma tabela.

Estudos com ratos demonstraram que a quinoa é capaz de incorporar na dieta 30% de ferro, com um coeficiente de eficiência de 0,74 determinado como ferro incorporado em hemoglobina pelo ferro ingerido, em comparação com o coeficiente de 0,55 obtido por adição de 0,06 g FeSO_4 por 100 g na dieta básica (ALLRED et al., 1976 apud WAHLI, 1990). A disponibilidade biológica do ferro, juntamente com a alta concentração de ferro no grão, pode contribuir no reconhecimento da quinoa como um valioso alimento complementar (KOZIOL, 1990).

Tabela 10 – Teores de microminerais encontrados nos grãos de quinoa

Micro minerais ¹ (bs) ²	Amostras de quinoa					
	VPP	VCP	PNP	PCP	BSyB	BSaP
Fe	5,63 ± 0,15cd	5,25 ± 0,03d	7,28 ± 0,18bc	17,2 ± 1,10a	8,59 ± 0,09b	4,74 ± 0,03d
Zn	3,70 ± 0,05b	3,79 ± 0,04b	2,98 ± 0,06d	3,36 ± 0,04c	5,12 ± 0,08a	3,17 ± 0,03cd
B	1,34 ± 0,05a	1,16 ± 0,03b	1,01 ± 0,01cd	0,92 ± 0,01d	1,11 ± 0,02bc	0,80 ± 0,02e
Cu	0,47 ± 0,01b	0,50 ± 0,01b	0,47 ± 0,04b	0,57 ± 0,00a	0,48 ± 0,01b	0,51 ± 0,01ab
Mn	6,90 ± 0,15c	3,41 ± 0,02e	9,48 ± 0,11a	7,99 ± 0,06b	2,53 ± 0,07f	5,53 ± 0,10d
Al	2,21±0,05dc	2,82± 0,25c	1,84±0,01d	5,87±0,20a	4,54± 0,19b	1,79±0,07d
Na	17,5 ± 0,29c	36,9 ± 0,56b	11,8 ± 0,32d	49,3 ± 0,17a	17,1 ± 0,06c	16,6±0,38c
Li (µg/kg)	0,14±0,01b	0,58±0,02a	0,14±0,02b	0,65±0,08a	0,17±0,02b	0,19±0,00b

¹ Média de duplicata ± desvio padrão.

² Valores obtidos em Base seca

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade.

VPP- vermelha Pasankalla Peru; VCP- vermelha comercial Peru; PNP- preta Negra Collana Peru; PCP- preta comercial Peru; BSyB- branca Sytetuba Brasil; BSaP- branca Salcedo Peru

O teor de zinco nas amostras variou de 3,0 a 5,1 mg/100 g e a cultivar brasileira (BSyB) apresentou o maior teor. Ballon et al. (1984), avaliando 15 cultivares de grãos de quinoa, observaram teores de 1,2 a 9,9 mg/100 g de zinco, que englobam os valores apresentados pelo USDA (2005) (3,1 mg/100 g) e por Nascimento et al. (2014) (2,5 mg/100 g). O zinco está distribuído em diferentes proporções no grão: no embrião se encontra a maior porcentagem (1,1 mg/100 g), seguido do farelo ou pericarpo (0,7 mg/100 g), menores proporções foram encontradas no perisperma (0,6 mg/100 g) (ANDO et al., 2002). O conteúdo de zinco em 100 g de quinoa é suficiente para suprir a necessidade diária para uma dieta infantil e de 40 a 60% do requerimento de uma dieta para adultos (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 2004 apud JAMES, 2008).

O boro presente nas amostras variou de 0,80 a 1,34 mg/100 g; não tendo sido reportados por outros autores a presença de boro em grãos de quinoa. O boro é considerado como essencial para animais, mas o requerimento para humanos ainda está em fase de estudos (SIZER; WHITNEY, 2003). O alumínio está presente na faixa de 1,79 a 5,87 mg/100 g. Na literatura consultada não foram encontrados referencias quanto a teores de alumínio em quinoa.

O teor de cobre nos grãos de quinoa variou de 0,47 a 0,57 mg/100 g e na Tabela da USDA (2015) é apresentado valor de 0,59 mg/100g. No entanto, estes valores são menores

que os encontrados por Ballon et al. (1984), de 3,2 a 8,7 mg/100 g para 15 cultivares de quinoa com diferentes cores de grãos. Os valores de cobre em quinoa são superiores aos de milho, trigo, arroz e cevada (USDA, 2015).

O manganês presente nos grãos variou de 2,5 a 9,5 mg/100g, resultados similares aos observados por Ballon et al. (1984), que encontrou de 2,7 a 17,8 mg/100g e próximos aos valores reportados pela USDA (2,03 mg/100 g).

O teor de sódio nos grãos de quinoa variou de 11,8 a 36,9 mg/100 g, acima dos apresentados pela Tabela USDA (2015), de 5 mg/100 g para os grãos de quinoa. Ruales e Nair (1994) observaram valores de 22 mg/100 g enquanto Ballon et al. (1984) observaram valores de 1,2 a 42,5 mg/100g.

O conteúdo de lítio variou de 0,7 a 0,15 µg/kg (ppb), sendo que a variedade preta comercial (PCP) apresentou o maior teor. Nascimento et al. (2014) observou teores de lítio de 7,95 µg/100 g (ou 79,5 µg/kg), estes valores são superiores aos encontrados na presente pesquisa. No entanto, existem reportes de lítio presente em grãos de amostras da Bolívia com teores de 7,5 mg/100 g (ou 75 mg/kg). O alto teor de lítio da quinoa foi atribuído ao lugar de procedência que é Salar d'Uyuni (Chile), que é considerada dentro das áreas de maior teor de lítio no mundo (FIGUEROA et al., 2013). Os grãos pretos apresentam consideráveis concentrações de lítio, potássio, ferro, magnésio e zinco.

Os dados encontrados na literatura sobre os teores de microminerais em grãos de quinoa são controversos, provavelmente devido ao tipo de solo e clima de onde são provenientes os cultivares.

5.1.4 Avaliação de compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos nas amostras de quinoa moída, avaliados pelo método de Folin-Ciocalteu (Tabela 11), apresentou valores mais elevados na amostra PNP (cultivar negra Collana), com 95,9 mg GAE/100 g. As outras amostras apresentaram teor entre 55,5 e 66,4 não apresentando diferença significativa entre si a $p < 0,05$.

Tabela 11 – Teor de compostos fenólicos totais (CFT) presentes nos grãos de quinoa

Amostras	CFT (mg GAE/100 g)
VPP	61,1±3,9bc
VCP	65,4±4,0b
PNP	95,9±3,6a
PCP	55,5±3,7c
BSyB	66,4±5,6b
BSaP	59,6±4,4bc

Média de seis repetições ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade.

GAE: Equivalente em ácido gálico

Onde: VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

A cultivar vermelha VPP foi estudada, também, por Repo de Carrasco e Zelada (2008) apresentando o teor de 53,8 mg GAE/100 g, menor do que o encontrado no presente estudo. Quinze cultivares de quinoa avaliadas pelos mesmos autores apresentaram valores que variam de 35,3 a 139,9 mg GAE/100 g, o que engloba os resultados apresentados no presente trabalho.

Em estudo realizado por Palombini et al. (2013) a quinoa brasileira cultivar BRS Piabiru apresentou 62,9 mg GAE/100 g, valor próximo ao encontrado para a cultivar BSyB no presente trabalho. Repo de Carrasco e Zelada (2011) avaliaram quatro diferentes cultivares de quinoa (Blanca de Juli, Kcancolla, La Molina e Sajama) do Peru e observaram valores de compostos fenólicos superiores aos apresentados no presente trabalho que variam de 142 a 197 mg GAE/100 g.

5.1.5 Avaliação da capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante dos grãos de quinoa foi avaliada pelos métodos de DPPH e ABTS. Os resultados obtidos pelo método DPPH estão apresentados na Tabela 12 e os resultados obtidos com o ABTS estão na Tabela 13.

Tabela 12 - Atividade antioxidante¹ de grãos de quinoa utilizando DPPH², e % de inibição

Amostras	DPPH (μM TEAC/g)	DPPH (μg TEAC/g)	% de inibição
VPP	5,67 $\pm$ 0,29b	1419,1	45,0 $\pm$ 2,4a
VCP	4,35 $\pm$ 0,20c	1088,8	34,4 $\pm$ 1,6b
PNP	5,99 $\pm$ 0,33ab	1499,2	47,6 $\pm$ 2,7a
PCP	6,18 $\pm$ 0,31a	1546,8	47,4 $\pm$ 2,6a
BSyB	3,33 $\pm$ 0,39d	833,5	23,5 $\pm$ 3,3c
BSaP	1,95 $\pm$ 0,16e	488,1	12,0 $\pm$ 1,3d

¹ expresso como equivalente de Trolox (TEAC)

² DPPH corresponde a 1,1-difenil-2-picril hidrazil

³ Média de seis repetições $\pm$ desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade.

Onde: VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

A capacidade antioxidante das amostras de quinoa estudadas, avaliada pelo método do DPPH (Tabela 12), variou de 1,95 a 6,18 μM TEAC/g, ou expresso como 488,1 a 1546,8 μg Trolox/g. Faixa de resultados de atividade tão ampla foi reportada, também, por Repo de Carrasco e Zelada (2008), que ao avaliar a capacidade antioxidante de 15 cultivares de quinoa pelo método de DPPH, obtiveram valores entre 117,5 a 2400,5 μg Trolox/g, embora não tenha sido especificado a cor dos grãos. Por outro lado, amostras de amaranto apresentaram valores na faixa de 556,49 a 660,90 μg Trolox/g.

Com relação à porcentagem de inibição as amostras PNP, PCP, VPP não apresentam diferença significativa entre elas; a porcentagem de inibição das amostras é maior nestas cultivares quando comparadas com as cultivares de pericarpo branco que apresentaram os menores teores de compostos fenólicos e capacidade antioxidante.

Analisando os resultados de capacidade antioxidante determinado pelo método ABTS (Tabela 13), pode se observar diferença significativa entre as amostras. A variedade de quinoa brasileira (BSyB) apresentou maior capacidade antioxidante (2,78 μM TEAC/g) frente as demais.

Tabela 13 - Atividade antioxidante¹ de grãos de quinoa utilizando ABTS² e % de inibição

Amostras	ABTS (μM TEAC/g)	ABTS (μg TEAC/g)	% de inibição
VPP	2,02±0,19c	505,6	12,92±1,85bc
VCP	1,79±0,07d	448,0	10,59±0,71d
PNP	1,98±0,10c	495,6	12,45±0,98c
PCP	2,25±0,08b	563,2	14,59±0,39b
BSyB	2,78±0,14a	695,8	18,67±1,42a
BSaP	1,95±0,12cd	488,1	10,32±1,25d

¹ expresso como equivalente de Trolox (TEAC)

² ABTS corresponde a 2,2-azino-bis-3etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico

Média de seis repetições ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade.

Onde: VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

Estes resultados de capacidade antioxidante são menores que os apresentados por Repo-Carrasco-Valencia e Serna (2011), que avaliaram a capacidade antioxidante de quinoa das cultivares: Blanca de Juli, Kcancolla, La Molina 89 e Sajama, não sendo apresentadas as cores de cada uma. O processo de extrusão aumentou o teor de compostos fenólicos de 1,42 a 1,97 GAE/g, bs para 1,66 a 3,28 GAE/g, bs.

Outros trabalhos apresentam valores de compostos fenólicos acima de 3,75 mg GAE/g (REPO-CARRASCO-VALENCIA; SERNA, 2011), utilizando uma metodologia diferente para o processo de extração, utilizando metanol e depois acetona como solventes de extração. Os mesmos autores avaliaram a capacidade antioxidante de grãos de quinoa, pelo radical ABTS, apresentando resultados mais elevados que os resultados apresentados no presente trabalho. Os valores variaram de 2351,9 a 3689,5 μg trolox/g; estes valores são incrementados depois do processo de extrusão para 3960,8 a 4165,6 μg trolox/g. A capacidade antioxidante e o conteúdo total de compostos fenólicos aumentam durante o processamento térmico por que os compostos fenólicos são liberados pelo processamento (DEWANTO, et al., 2002).

Outro pseudocereal que pode ser comparado com a quinoa é a canhiua (*Chenopodium pallidicaule*). Este pseudocereal apresenta valores de capacidade antioxidante de 1000 mg GAE/100g matéria seca (ABDERRAHIM et al., 2012).

5.1.6 Características do amido de quinoa

O teor de amido nos grãos de quinoa das amostras estudadas está apresentado na Tabela 14 e variaram de 47,2 a 59,7 % (bs) que são semelhantes aos encontrados por

Mundigler (1998), Ruales e Nair (1994), De Bruin (1964). Os rendimentos do processo de extração do amido a partir das diferentes amostras de grãos de quinoa estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Teor de amido nos grãos de quinoa avaliadas

Amostras de quinoa	Teor do amido no grão (% , bs)	Rendimento de extração (% , bs)
VPP	56,0±0,03	46,5
VCP	54,6±0,01	32,8
PNP	49,3±0,07	32,1
PCP	47,2±0,09	25,4
BSyB	55,4±0,05	39,0
BSaP	59,7±0,05	50,2

Média de pelo menos três repetições ± desvio padrão

VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

O procedimento de extração de amido de quinoa demandou mais etapas de purificação nas cultivares dos grãos de cor vermelha e preta, pela presença de pigmentos do pericarpo e episperma do grão. Durante a extração do amido, foram realizadas repetidas centrifugações com o objetivo de remover tais pigmentos, restos de proteína, cinzas, lipídeos entre outros componentes provenientes do grão. Por esse motivo o rendimento de extração foi variável entre as amostras.

Segundo Cereda (2001) durante a extração do amido, tanto em laboratório quanto em processos industriais, dificilmente se obtém 100 % de extração, ou seja, retirar da matéria-prima todo o amido que ela contém.

5.2 Características do amido isolado dos grãos de quinoa

5.2.1 Composição do amido de quinoa

As análises de composição (teores de cinzas, proteína e extrato etéreo) (Tabela 15) foram realizadas no amido obtido a fim de avaliar a eficiência do processo de extração de amido no que se refere à pureza do mesmo, estabelecendo que a somatória dos componentes avaliados ficasse o mais próximo possível a 100 %. A determinação da umidade foi importante para o armazenamento das amostras e também para realizar as correções na base seca.

Tabela 15 - Composição do amido isolado das amostras de quinoa

Amostras de quinoa	Composição do amido ¹ (%)				
	Umidade	Cinzas	Proteínas	Extrato Etéreo	Somatória
VPP	9,3 ±0,41	0,14±0,00	0,38±0,00	0,09±0,02	0,61
VCP	12,6±0,14	0,08±0,01	0,29±0,08	0,05±0,00	0,42
PNP	12,6±0,04	0,02±0,00	0,54±0,00	0,03±0,12	0,59
PCP	13,1±0,08	0,08±0,00	0,94±0,06	0,04±0,14	1,06
BSyB	10,5±0,01	0,08±0,01	0,85±0,02	0,11±0,05	1,04
BSaP	11,2±0,02	0,15±0,01	0,39±0,01	0,08±0,00	0,62

¹ Média de triplicata ± desvio padrão, base seca

VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Sytetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

A umidade das amostras se manteve abaixo de 15%, valor máximo recomendado pela legislação brasileira (BRASIL, 2005) para comercialização de amido de cereais. O teor de cinzas variou de 0,02 a 0,15 % sendo inferiores aos encontrados por Araujo-Farro (2008) que reportou valores de 0,21%. O teor de proteína variou de 0,29 a 0,94 % dependendo das amostras, e foram semelhantes aos obtidos por Araujo-Farro (2008) e Lorenz (1990), que enfatizaram a dificuldade em remover o material proteico durante a obtenção do amido de quinoa. Os valores de extrato etéreo de 0,03 a 0,11 % foram próximos ao obtido por Araujo-Farro (2008). Dessa forma, o amido obtido apresenta-se adequado quanto à pureza que variou de 98,4 a 99,6% semelhante ao obtido por Jan; Saxena e Singh (2015).

5.2.2 Teor de amilose

A composição do amido dentro da estrutura granular está ligada à funcionalidade do mesmo (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006). Dentre os macrocomponentes do amido, nesse estudo foi avaliado o teor de amilose das amostras de quinoa.

O teor de amilose total, ou seja, da amilose livre de lipídeos, segundo Morrison e Laignelet (1983), é o único procedimento satisfatório para a determinação da amilose total através de método iodométrico. Os mesmos autores relatam que existe uma distinção entre amilose aparente, que é medida na presença de lipídeos e a amilose total que é medida em preparações livres de lipídeos, uma vez que estes se complexam com a amilose reduzindo a capacidade de ligação da mesma com iodo. Na comparação dos valores observados com a literatura consultada, também se levou em conta essa distinção.

O teor de amilose total do amido de quinoa das amostras estudadas variou de 13,6 a 21,6% (bs) e estão apresentados na Tabela 16. O teor de amilose nos grânulos de amido varia de acordo com a fonte vegetal de origem e também dentro de uma mesma fonte (ELIASSON, 2004; TESTER; KARKALAS; QI, 2004). A maioria dos amidos normais das diferentes fontes vegetais contém de 20 a 35% de amilose (BILLIADERIS, 1991).

Tabela 16 - Teor de amilose total¹ no amido obtido das diferentes amostras de quinoa

Amostras de quinoa²	Teor de Amilose (%)
VPP	13,6 ± 0,2d
VCP	14,5 ± 0,2c
PNP	19,6 ± 0,1b
PCP	19,5 ± 0,3b
BSyB	21,3 ± 0,0a
BSaP	20,0 ± 0,1b

¹ média de pelo menos três repetições ± desvio padrão

² VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

O amido da variedade brasileira, BRS Syetetuba (BSyB) com pericarpo branco apresentou o maior teor de amilose total e o da variedade peruana Pasankalla (VPP), com pericarpo vermelho o menor teor.

Lindeboom et al. (2005) avaliaram o teor de amilose do amido de oito cultivares de quinoa, de origens distintas produzidas no Canadá, expressando o teor de amilose realizado sem o desengorduramento do amido, ou seja, de amilose aparente, quantificado pelo método colorimétrico e observou teores que variaram de 0,3 a 12,1 %. Os autores apresentam, ainda, os teores de amilose total determinados por cromatografia de permeação em gel, onde os resultados variaram de 3,5 a 19,6 %. A diferença observada pelos autores quando comparam as metodologias pode ter ocorrido pelo fato dos autores terem realizado a técnica colorimétrica sem o desengorduramento prévio do amido.

Morrison e Laignelet (1983) observaram que os teores de amilose, realizados com desengorduramento e empregando a técnica colorimétrica, foram semelhantes aos resultados obtidos pelo método baseado na desramificação enzimática e cromatografia por permeação em gel, empregadas na pesquisa de Lindeboom et al (2005). Os resultados obtidos por Lindeboom et al. (2005) também evidenciaram as diferenças nos teores de amilose que existem entre diferentes amostras de quinoa como os observados nessa pesquisa. No entanto,

os autores não caracterizaram os grãos em relação à cor do pericarpo para que fosse possível realizar uma comparação com as amostras avaliadas nesse estudo.

Lorenz (1990) estudando amido de diferentes fontes, incluindo quinoa de uma variedade experimental dos USA, encontrou teor de amilose de 9,28% (bs) determinado pelo método colorimétrico de acordo com Schoch (1964). Os autores observaram que o teor de amilose de quinoa foi menor do que os de cevada (25,7%, bs), batata (23,0%, bs) e trigo (21,7%, bs) e, que, juntamente com os grânulos pequenos de amido observados afetaram significativamente as características funcionais do amido (solubilidade, gelatinização, retrogradação e hidrólise). Qian e Kuhn (1999) avaliaram amostras de quinoa comercial observando valores de amilose total de 12,2%. Conhecer as diferenças existentes nos teores de amilose entre as amostras de quinoa pode fornecer informações necessárias quando se busca características de importância tecnológica, como as obtidas por modificações químicas do amido e, assim, otimizar a utilização desse grão em processos tecnológicos.

5.2.3 Cristalinidade dos grânulos de amido

Os perfis de difração de raios X dos amidos das amostras de quinoa analisadas estão apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Difratograma comparativo do amido das amostras de quinoa: VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Sytetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

O amido das amostras de quinoa apresentaram padrão de cristalinidade do tipo A, de acordo com a classificação de Zobel (1964), apresentando picos em aproximadamente 15° , 17° , 18° e $23^\circ 2\theta$, com resultados similares aos apresentados por Atwell et al. (1983), Araujo-Farro (2008) e Pérez (2014). A difração de raios-X confirma a presença de uma estrutura cristalina nos grânulos de amido; de acordo com Tester, Karkalas e Qi (2004) os amidos de cereais, tradicionalmente, apresentam padrão cristalográfico do tipo A; o amido de tubérculos e amido de alta amilose o padrão tipo B e o amido de leguminosas, raízes e algumas frutas amido do tipo C.

O amido das amostras de quinoa estudadas apresentou valores de cristalinidade relativa entre 25,2 e 29,7%, com diferença estatística entre as amostras (Tabela 17); os valores observados para as cultivares brancas (BSyB e BSaP) foram de 27,3 e 29,4%, respectivamente. Araujo-Farro (2008) e Tang, Watanabe e Mitsunaga (2002) avaliaram a cristalinidade relativa do amido de quinoa da variedade Real, que apresenta pericarpo branco, obtendo 34% e 35%, respectivamente, enquanto Qian e Kuhn (1999) avaliando uma amostra comercial de quinoa, sem especificação da cor dos grãos, obtiveram 35,4%.

As diferenças nos valores de cristalinidade relativa encontradas nesse estudo em comparação aos encontrados na literatura poderia ser atribuída às diferenças de composição do amido das amostras estudadas, além dos parâmetros, como a faixa do ângulo 2θ empregada para determinação da área cristalina e área total obtidas dos difratogramas, o que dificulta comparação entre os mesmos.

Além disso, de acordo com Cheetham e Tao (1998) o grau de hidratação dos grânulos durante a realização da avaliação influencia a cristalinidade relativa do amido, assim o aumento no teor de umidade implica um aumento no grau de cristalinidade, mesmo que o perfil de difração de raios-X continue sendo o mesmo. Diversos valores de cristalinidade relativa são reportados, uma vez que os amidos são avaliados com diferentes porcentagens de umidade, dificultando assim a comparação dos resultados (ROCHA, 2010).

Tabela 17 - Cristalinidade relativa dos amidos de quinoa

Amostras de quinoa	Cristalinidade relativa¹ (%)
VPP	29,6± 0,78a
VCP	28,0± 0,20b
PNP	25,6± 0,36c
PCP	25,4± 0,38c
BSyB	29,5± 0,12a
BSaP	27,3± 0,21b

¹Média de triplicata ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05).

VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

5.2.4 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas do amido podem ser estudadas por calorimetria diferencial de varredura (DSC); esta técnica fornece medidas quantitativas do fluxo de calor associado à gelatinização e retrogradação (CEREDA, 2001).

5.2.4.1 Propriedades térmicas de gelatinização

Na Tabela 18 estão apresentadas as propriedades térmicas de gelatinização para as amostras dos amidos extraídos das diferentes amostras de quinoa; os valores obtidos para T_i, T_p, T_f, ΔT e ΔH também estão apresentados.

Tabela 18 - Propriedades térmicas de gelatinização¹ do amido extraído de amostras de quinoa determinadas por calorimetria diferencial de varredura

Amostras de quinoa	T_i (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	ΔT (°C)	ΔH
VPP	50,8±0,0c	56,3±0,3d	64,1±0,1c	15,3	10,4±0,3c
VCP	51,8±0,2bc	57,9±0,2cb	64,9±0,1b	11,9	10,3±0,4c
PNP	51,9±0,3b	56,9±0,4cd	63,5±0,4c	16,7	10,8±0,3bc
PCP	52,3±0,7b	58,9±0,4b	65,4±0,1b	16,4	10,3±0,2c
BSyB	59,7±0,6a	64,5±0,4a	71,7±0,4a	16,6	12,0±0,3a
BSaP	52,8±0,1b	57,7±0,3c	64,0±0,0c	18,3	11,2±0,4ab

¹ média de triplicata ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05)

T_i = Temperatura inicial; T_p = Temperatura de pico; T_f = Temperatura final; ΔT = T_f - T_i e

ΔH= variação de entalpia

VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru; PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

O amido extraído das diferentes amostras de quinoa apresentaram temperaturas de transição de gelatinização (T_i , T_p e T_f) diferentes ($p < 0,05$), sendo que os valores de temperatura inicial (T_i) variaram de 50,8 a 59,7°C, de temperatura de pico (T_p) de 56,3 a 64,5°C, de temperatura final (T_f) de 63,5 a 71,7°C e a variação de entalpia (ΔH) de 10,3 a 12,0 J/g.

A variedade brasileira BRS Syetetuba (BSyB) apresentou as temperaturas mais elevadas ($p \leq 0,05$) no processo de gelatinização avaliadas (T_i , T_p , T_f) quando comparada com as amostras provenientes do Peru. As variações nos resultados podem ser atribuídas às distintas procedências das amostras e à temperatura durante a biossíntese do amido que afeta a temperatura de gelatinização e a temperatura de pasta (HIZUKURI, 1969, TESTER; DEBON, 2000, PÉREZ, 2014). Pérez (2014) avaliando o amido de quinoa e outros pseudocereais observou que o amido obtido das culturas de produzidas em condições ambientais mais frias, apresentou menores temperaturas de transição da gelatinização, o que poderia explicar a diferença observada para essa avaliação entre o amido da quinoa cultivada no Brasil (BSyB) e as amostras de amido de quinoa proveniente do Peru.

No estudo pioneiro com quinoa realizado por Atwell et al. (1983), embora não tenha sido caracterizada a variedade estudada, a T_i e T_f obtidas foram de 50,6°C e 87,8°C, respectivamente, e a ΔH de 16,7 J/g, no entanto, as condições empregadas na análise foram diferentes desse estudo no que se refere à proporção amido:H₂O e taxa de aquecimento.

A comparação dos resultados obtidos com os da literatura deve ser feita quando as condições da análise sejam semelhantes, principalmente a proporção amido:água e a taxa de aquecimento, uma vez que, as mesmas influenciam os valores dos parâmetros avaliados (BILLIADERIS; MAURICE; VOSE, 1980; ELIASSON; KARLSSON, 1983; ELIASSON, 1980). Assim, Pérez (2014) empregando as mesmas condições do presente estudo, proporção amido:H₂O (1:3, p/v) e taxa de aquecimento (10°C/min), obteve, respectivamente, os valores de 51,9°C, 59,2°C e 66,3°C para T_i , T_p e T_f e ΔH de 11,4 J/g (bs) para amido de quinoa Real procedente da Bolívia. Os valores observados por Pérez (2014) estão na faixa observada para as seis amostras aqui estudadas.

Tang, Watanabe e Mitsunaga (2005) avaliando o amido da mesma variedade proveniente do Peru, estudada por Pérez (2014), porém empregando diferentes condições amido: H₂O (1:2, p/v) e taxa de aquecimento (5°C/min), observaram valores de 54,5°C; 62,6°C e 71,3°C para T_i , T_p e T_f , respectivamente, que foram semelhantes ao encontrados por Ando et al. (2002) empregando a proporção de 1:3,75 para amido:H₂O (p/v).

No estudo de Lindeboom et al. (2005) as oito cultivares de quinoa que foram avaliadas apresentaram valores de T_i de 44,6 a 53,7°C, onde 6 com $T_i \leq 50^\circ\text{C}$, ou seja menores do que as observadas neste estudo. Para a T_p os autores observaram valores de 50,5 a 61,7°C e apenas 2 amostras encontravam-se na mesma faixa observada no presente trabalho.

Inouchi et al. (1999) avaliaram o amido de 4 diferentes cultivares grãos de quinoa proporção de 1:2, amido:H₂O (p/v) e observaram as faixas de 46,1 a 57,4°C para T_i , 54,2 a 61,9 °C para T_f e 66,2 a 68,5 °C para T_f .

As temperaturas de gelatinização foram correlacionadas com o teor de amilose total e cristalinidade relativa das seis amostras de quinoa estudadas no presente experimento, mas não foi observada correlação significativa entre esses parâmetros ($p < 0,05$) diferentemente do observado por Lindeboom et al. (2005) que obteve correlação positiva entre amilose e T_i e T_f para oito cultivares de quinoa. No entanto, os autores informam que esses resultados foram contrastantes aos observados, por outros autores, para milho, cevada e centeio. É importante observar como o teor de amilose foi determinado, pelas variações comentadas anteriormente (item 5.2.2), pelo fato que, a variação na proporção de lipídeos complexados com amilose e lipídeo livre de amilose pode apresentar algum efeito sobre a temperatura de gelatinização do amido (MORRISON, 1995).

A entalpia de gelatinização (ΔH_g) permite entender qual é a energia necessária para que aconteça o intumescimento das partículas devido à elevação da temperatura de gelatinização e a absorção de água (WEBER; COLLARES-QUEIROZ; CHANG, 2009). Os valores obtidos no presente estudo variaram de 10,3 a 12,0 J/g, semelhante ao observado por Tang, Watanabe e Mitsunaga (2002) e inferiores aos obtidos por Lindeboom et al. (2005) que avaliando oito cultivares de quinoa encontraram valores de ΔH_g entre 12,8 e 15 J/g. Na literatura consultada o menor valor ΔH_g apresentado, para amido de quinoa, foi de 1,66 J/g (QIAN; KHUN, 1999). No presente experimento o amido das cultivares de grãos com pericarpo branco apresentam os maiores valores de ΔH_g e não foi observada diferença significativa entre as amostras pretas e vermelhas. Os resultados de ΔH_g obtidos neste estudo foram próximos aos de outras fontes de amido importantes na indústria como o amido de milho, 14 J/g, (CHUNG; WOO; LIM, 2004) e amido de arroz, 9 a 17 J/g, (BILIADERIS et al., 1986).

A cristalinidade relativa do amido também pode influenciar a ΔH_g (SINGH; MCCARTHY; SINGH, 2006), no entanto, no presente estudo não foi observada correlação

significativa entre tais parâmetros, como também não foi observado por Lindeboom et al. (2005), estudando amido de quinoa.

Para a variação de entalpia, os resultados são maiores no caso do *Chenopodium album*, ΔH de 12,8 a 14,1 J/g, no mesmo trabalho estes resultados são comparados com o amaranto, outro pseudocereal, apresentando temperaturas de transição maiores, ΔH de 16,5 J/g. Uma possível explicação para esta variação pode ser atribuída, novamente, às diferenças no teor de amilose e amilopectina, já que amidos mais cristalinos apresentam maiores teores de amilopectina e, por isso, maiores temperatura de pico, variando assim as temperaturas de transição (JAN; SAXENA; SINGH, 2015, SINGH; MCCARTHY; SINGH, 2006).

As propriedades térmicas do amido estão relacionadas com a microestrutura e com o grau de cristalinidade dos grânulos, e também do tamanho do grânulo e proporção amilose/amilopectina (SANDHU et al., 2008). A entalpia de transição pode ser interpretada como sendo correspondente à quantidade de região cristalina (ou estrutura de duplas hélices) do amido em suspensão que são rompidas pelo aquecimento (LIU et al., 2006). A gelatinização envolve, portanto, o desenrolamento e a fusão das cadeias externas da amilopectina que estão empacotadas como duplas hélices nos *clusters* (LAWAL, 2004). Valores elevados de energia ou temperaturas mais altas de gelatinização estão relacionados com estruturas cristalinas mais fortes (COOKE; GIDLEY, 1992).

5.2.4.2 Propriedades térmicas de retrogradação

No estudo das propriedades térmicas do amido é possível avaliar também o processo de retrogradação. Karim; Norziah e Seow (2000) relatam que na retrogradação o gel sofre transformações que resultam em uma estrutura parcialmente cristalina, diferente da estrutura presente no grânulo de amido nativo. A fração responsável pela retrogradação supõe ser a amilopectina, quando avaliada pelo DSC (KARIM; NORZIAH; SEOW, 2000).

Por conseguinte, a entalpia aqui observada durante a fusão das amostras retrogradadas representa os graus relativos da retrogradação desta fração. A retrogradação da amilopectina envolve o processo de cristalização das ramificações mais externas (GP 14-18).

Diferentemente do observado com a amilose, a cristalização da amilopectina é um processo lento, continuando ao longo de um período de vários dias ou semanas. Devido às dimensões limitadas das cadeias, a estabilidade destes cristais é menor que aquela dos cristais de amilose (KARIM; NORZIAH; SEOW, 2000).

Os resultados obtidos para o amido proveniente das amostras de quinoa estudadas estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Propriedades térmicas de retrogradação¹ do amido de seis cultivares de quinoa determinadas por calorimetria diferencial de varredura

Amostras de quinoa	Ti (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔT (°C)	ΔH	Taxa de retrogradação (%)
VPP	37,7 $\pm$ 0,8a	45,2 $\pm$ 1,3b	53,0 $\pm$ 0,6bc	13,4	0,9 $\pm$ 0,1e	8,5
VCP	39,3 $\pm$ 1,3a	45,4 $\pm$ 1,1b	51,2 $\pm$ 0,7c	13,2	0,8 $\pm$ 0,0e	7,5
PNP	38,3 $\pm$ 0,9a	46,7 $\pm$ 1,0ab	54,9 $\pm$ 1,7ab	11,6	1,5 $\pm$ 0,1d	13,9
PCP	39,3 $\pm$ 1,0a	47,2 $\pm$ 0,9ab	55,7 $\pm$ 1,1ab	13,1	1,9 $\pm$ 0,0c	18,0
BSyB	39,9 $\pm$ 0,2a	48,1 $\pm$ 0,3a	56,5 $\pm$ 0,2a	12,1	3,1 $\pm$ 0,0a	25,4
BSaP	38,5 $\pm$ 1,0a	47,3 $\pm$ 0,6ab	56,9 $\pm$ 1,2a	11,2	2,1 $\pm$ 0,1b	19,0

¹ média de triplicata $\pm$ desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Ti = Temperatura inicial; Tp = Temperatura de pico; Tf = Temperatura final; $\Delta T = T_f - T_i$ e

ΔH = variação de entalpia

VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru;

PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

Os resultados de temperatura inicial (Ti) variaram de 37,7 a 39,9°C nas amostras de quinoa, não sendo observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras. A temperatura de pico (Tp) variou de 45,2 a 48,1 C, sendo que o amido proveniente da variedade BSyP diferiu significativamente das amostras VPP e VCP. A temperatura final (Tf) variou de 51,1 a 56,9, sendo o menor valor observado para o amido da amostra VCP que não diferiu apenas da amostra VPP.

A variação de entalpia de retrogradação (ΔH_r) dos amidos provenientes das amostras com pericarpo vermelho foram as que apresentaram os menores valores, não sendo observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as mesmas e todas as demais amostras diferiram entre si.

Como os amidos provenientes de grãos de quinoa de amostras vermelhas apresentam uma menor porcentagem de amilose, consequentemente, apresentam uma maior porcentagem de amilopectina. Isto demonstra que no grânulo de amido a amilopectina retrograda de forma lenta (DONA et al., 2010; WANI et al., 2012)

A variação de temperatura (ΔT) para as amostras foi de 11,2 a 13,4°C e a taxa de retrogradação variou de 7,50 a 25,4%. Lindeboom et al. (2005) apresentaram valores de retrogradação de 19,6 a 40,8% para os oito cultivares de amido de quinoa, os autores afirmam que estas diferenças ocorrem no momento de resfriamento e armazenagem de pastas gelatinizadas de amido. Este fenômeno diminui a qualidade dos produtos derivados de amido.

A taxa de retrogradação está diretamente relacionada ao grau de reassociação das cadeias ramificadas muito longas da amilopectina, e inversamente relacionada à fração de cadeias ramificadas curtas com GP 6-12 (JANE et al., 1999; SINGH et al., 2003). Ou seja, amidos que apresentam maiores teores de cadeias curtas são as que apresentam menores valores de retrogradação. Este comportamento foi observado para as amostras de quinoa de pericarpo vermelho, indicando que estas amostras apresentaram taxa de reassociação menor que as demais amostras.

5.2.5 Propriedades de pasta

A viscosidade do amido, avaliada por meio da análise das curvas de viscosidade obtida por RVA, reflete as características do amido durante a formação do gel, assim como a resistência do gel às forças mecânicas no aquecimento e a tendência à retrogradação, mediante análise do comportamento no resfriamento (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

A amilopectina contribui para o inchamento dos grânulos de amido e empastamento, enquanto a amilose inibe o intumescimento, assim como a presença de lipídeos, pois estes podem formar complexos insolúveis com algumas moléculas de amilopectina (TESTER; MORRISON, 1990). Além disso, o comprimento da cadeia de amilopectina e o tamanho molecular da amilose produzem efeitos sinérgicos sobre a viscosidade de pasta do amido (JANE; CHEN, 1992).

Os parâmetros das propriedades de pasta e os perfis viscoamilográficos, obtidos no RVA, dos amidos de quinoa, estão apresentados na Tabela 20 e na Figura 12, respectivamente:

Tabela 20 – Propriedades de pasta¹ dos amidos de quinoa obtidas por RVA

Amostras de quinoa	TP (°C)	Tempo de pico (min)	VISCOSIDADE (RVU)			
			VP	VQ	VF	Retrogradação (Setback) (SB)
VPP	60,1±0,1e	5,8± 0,1e	270 ± 1,9e	58 ± 2,1b	309 ± 1,1d	92± 2,7a
VCP	70,5±0,9a	6,4± 0,0d	283± 2,5c	63± 0,6a	300 ± 4,6e	74± 1,2b
PNP	65,3±0,9c	7,0± 0,00a	237± 0,3f	30 ± 1,1c	269 ± 0,9f	63± 1,7c
PCP	65,3±0,0c	6,7± 0,2bc	336± 1,5a	21± 0,3d	369± 0,3a	54± 1,5d
BSyB	68,7±0,1b	6,4±0,1cd	288 ± 2,0b	10± 0,3e	354 ± 4,6b	75 ± 3,4b
BSaP	63,0±0,5d	7,0±0,1ab	277 ± 1,3d	10± 0,4e	331 ± 1,4c	66 ± 0,0c

¹ média de triplicata ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

TP = Temperatura de pasta;

VP = Viscosidade de pico; VQ = Viscosidade de quebra (Breakdown); VF = Viscosidade final

VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru;

PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

Figura 12 - Viscoamilogramas dos amidos de quinoa obtidos por RVA

VPP - vermelha Pasankalla Peru; VCP - vermelha comercial Peru; PNP - preta Negra Collana Peru;

PCP - preta comercial Peru; BSyB - branca Syetetuba Brasil; BSaP - branca Salcedo Peru

O tempo de pico observado entre as amostras de amido de quinoa variou de 5,8 a 7 minutos, que apresentaram diferença estatística entre si. Lindeboom et al. (2005) correlacionou o tempo de pico com o teor de amilose e não encontrou correlação significativa entre o teor de amilose e TP ($r = 0,59$; $p < 0,05$).

A temperatura de pasta (TP) é a temperatura onde a viscosidade começa a crescer e não deve ser confundida com a temperatura de gelatinização (CIACCO; CRUZ, 1982). No presente estudo foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) para TP, que variou entre 60,1 e 70,5°C, sendo que o amido da amostra VCP apresentou o maior valor e da VPP o menor. Qian e Kuhn (1999) reportaram resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo, para amidos de quinoa (71,7°C) e 66,8°C para amido de amaranto, um pseudocereal de características semelhantes ao grão de quinoa.

Atwell et al. (1983) e Lorenz (1990) avaliaram as propriedades de pasta no viscoamilógrafo Brabender e encontraram como primeira medida de viscosidade 60°C, 61°C, este valor pode ser considerado como a temperatura de pasta, na qual a birrefringência dos grânulos de amido é perdida, este valor de temperatura é semelhante a apresentada pela amostra VPP. As diferenças de viscosidade entre 92 e 95°C varia entre 895 e 570 BU, e depois do resfriamento a 35°C, a 1200 a 1690 BU.

No presente trabalho, o pico de viscosidade dos amidos de quinoa variaram de 237 a 336 RVU, sendo que o amido da amostra preta comercial (PCP) apresentou o maior valor ($p < 0,05$) e o menor pico de viscosidade (PV) foi apresentado pela variedade Negra Collana (PNP); todas as amostras apresentaram diferença estatística entre si ($p < 0,05$). Comparando estes resultados com outros estudos realizados com amido de quinoa de diferentes origens, observa-se que Araujo-Farro (2008) obteve PV de 375 RVU.

Lindeboom et al. (2005) avaliaram a correlação entre o teor de amilose e os parâmetros de viscosidade e observaram uma correlação significativa e positiva entre o teor de amilose e PV ($r = 0,57$; $p < 0,0001$). No presente estudo essa correlação não foi significativa.

A quebra na viscosidade ou Breakdown (QV) é a diferença entre o pico e o mínimo de viscosidade atingida. É uma medida da ruptura do grânulo, ou a habilidade do amido em resistir à força de cisalhamento durante o aquecimento (MATTA JUNIOR, 2009; PEREZ, 2014). Os resultados obtidos no presente estudo mostram valores de QV entre 10 e 63 RVU, com percentual de redução na viscosidade variando de 3,5 a 22,3%. O amido das duas amostras de quinoa com pericarpo branco apresentaram as maiores estabilidades ao aquecimento e agitação, já que apresentaram os menores valores de QV com redução de 3,5 e 3,6% do pico de viscosidade. Pode-se inferir, portanto, que nessas cultivares, os grânulos de amido mostraram uma maior habilidade em resistir à força de cisalhamento durante o período de aquecimento. Esta característica de estabilidade na viscosidade no amido de quinoa é vantajosa para aplicações industriais (PÉREZ, 2014). Já o amido das amostras vermelhas

foram os que apresentaram os maiores valores de QV com reduções de aproximadamente 22% na viscosidade, indicando uma menor resistência às forças de cisalhamento, ou seja, grânulos com maior fragilidade em relação às linhagens brancas.

Qian e Kuhn (1999) obtiveram valores de redução de quebra de 21,6% para amostras de amido de quinoa comercial proveniente da Bolívia, semelhantes aos observados para o amido de quinoa com grão de pericarpo vermelho, VPP e VCP, com valores de 21,5% e 22,3%, respectivamente.

A fragilidade dos grânulos de amido pode estar relacionada com a cristalinidade relativa, como também com o teor de amilose. Uma maior cristalinidade pode ser atribuída a uma melhor organização das duplas ligações fazendo que os grânulos de amido sejam mais compactos e mais resistentes às forças de cisalhamento (LAWAL, 2004). No presente estudo não foi encontrada correlação entre a cristalinidade relativa e QV, mas foi encontrada correlação negativa entre o teor de amilose e QV ($r=-0,24$, $p=0,65$). Lindeboom et al. (2005) observaram uma correlação negativa ($r=-0,77$, $p = 0,001$) entre teor de amilose e QV, no entanto, Jan, Saxena e Singh (2015) observaram correlação positiva entre QV e teor de amilose.

A viscosidade final (VF) dos amidos de quinoa variou de 269 a 369 RVU (Tabela 20), sendo que o amido da amostra PNP apresentou a menor VF e a amostra PCP apresentou o maior valor de VF. Qian e Kuhn (1999) obtiveram VF de 416 RVU para amido de quinoa e relataram 108 RVU para amido de amaranto. Estes autores consideraram que a menor VF do amido do amaranto pode ser devido às moléculas mais curtas desse amido já que moléculas longas contribuem para uma maior viscosidade. No presente trabalho não se avaliou o tamanho das moléculas do amido da quinoa que poderia explicar as diferenças de VF entre o amido das amostras estudadas.

A retrogradação ou setback (SB) é um processo que ocorre quando as moléculas de amido gelatinizadas começam a se reassociar formando uma estrutura mais organizada. Sob condições favoráveis esta nova estrutura ordenada pode se desenvolver em forma cristalina. O processo é especialmente evidente quando o amido gelatinizado é resfriado (ATWELL et al., 1988).

Os valores de SB variaram de 53,9 a 91,9 RVU (Tabela 20), com o maior valor sendo obtido para o amido da amostra VPP e o amido da amostra PCP que apresentou uma tendência menor à retrogradação. A retrogradação é responsável pelo encolhimento, sinérese e endurecimento de géis de amido, sendo indesejável em aplicações tecnológicas como em molhos, por causar separação de fases (CIACCO; CRUZ 1982).

O processo de retrogradação está associado ao teor de amilose, pela maior tendência de reassociação dessa molécula quando comparada com a amilopectina (KARIM; NORZIAH; SEOW, 2000). Isto ocorre pelo fato da molécula de amilose apresentar somente 1% de ligações glicosídicas α -(1,6) e a amilopectina apresenta 5% destas ligações (KLEIN et al., 2013). Nesta pesquisa não se observou correlação significativa entre teor de amilose e SB o que também não foi observado por Lindeboom et al. (2005) para o amido de 8 cultivares de quinoa. A lixiviação da amilose, tamanho dos grânulos do amido e presença de grânulos inchados não fragmentados, também podem influenciar a tendência a retrogradação (LAN et al., 2008)

5.2.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O aspecto geral dos grânulos de amido provenientes das amostras de quinoa analisadas foram obtidas por MEV; as micrografias captadas estão apresentadas na Figura 13. Por meio da análise das micrografias foram avaliados os tamanhos dos grânulos, observando que estes variam de 0,9 a 1,9 μm para todas as amostras. Araujo-Farro (2008) observou que os grânulos de amido de quinoa apresentaram tamanhos que variaram de 0,5 e 2 μm , semelhantes aos observados neste trabalho.

Foi avaliado, também, que os grânulos se caracterizam por apresentar formas poliédricas, em todas as amostras estudadas sendo que o mesmo foi observado por Araujo-Farro (2008), Tang, Watanabe e Mitsunaga (2002), Ruales e Nair (1994), Lorenz (1990).

Figura 13 - Micrografia dos amidos de quinoa observadas por microscopia eletrônica de varredura das amostras de amido obtido de quinoa: VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru

5.2.7. Susceptibilidade à hidrólise enzimática

O amido de quinoa foi hidrolisado pela enzima alfa amilase pancreática de suíno em até 480 min. A produção de açúcar redutor em equivalente de maltose está apresentada na Tabela 21 e o perfil de hidrólise está apresentado na Figura 14.

Tabela 21 - Produção de açúcar redutor do amido hidrolisado por alfa-amilase em equivalentes de maltose

Tempo (min)	Açúcar redutor em equivalente de maltose (mg/mL)					
	VPP	VCP	PNP	PCP	BSyB	BSaP
15	6,0	5,6	4,9	6,1	4,8	6,3
30	6,5	6,9	7,0	6,1	6,1	7,7
60	7,2	7,1	7,2	7,5	7,8	8,1
120	7,3	7,6	8,1	6,9	7,9	7,5
240	7,8	7,1	7,7	7,8	8,3	7,6
360	7,9	7,5	7,4	9,0	8,4	8,0
480	7,7	8,4	6,2	8,7	7,4	8,0

VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru

A hidrólise ocorreu em duas fases, sendo a fase rápida até 60 min. exceto para o amido proveniente da cultivar BSyB.

O perfil de hidrólise (Figura 14) foi semelhante para todos os amidos obtidos das diferentes cultivares onde se observa que nos primeiros 60 minutos a hidrólise é rápida seguida de uma taxa menor. Este comportamento é denominado por Perez (2008) como bifásico. A porcentagem de hidrólise variou de 80,6 a 94,4% para todas as cultivares no tempo de 480 minutos ou 8 horas. Estas diferenças na proporção de hidrólise podem ser devido ao tamanho e forma dos grânulos de amido, que são fatores que influenciam a suscetibilidade enzimática (TESTER; QI; KARKALAS, 2006). De tal modo que quando os grânulos de amido são de menor tamanho a suscetibilidade enzimática é maior. Assim, as enzimas reagiram mais rápido nas regiões amorfas e cristalinas do grânulo (ROCHA, 2007). Embora no presente trabalho não tenha sido determinada a distribuição do tamanho de partícula dos grânulos de amido de cada variedade para poder concluir a importância deste fator na hidrólise do grânulo.

Figura 14 - Perfil da hidrólise enzimática do amido das amostras de quinoa por alfa amilase de suíno em equivalentes de maltose. Onde: VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru

No presente estudo a hidrólise enzimática dos grânulos de amido foi calculada a partir da produção de equivalentes em maltose (Tabela 21) após a ação da enzima alfa amilase pancreática. Observa-se que a maior produção de equivalentes em maltose foi no tempo de 240 a 360 minutos ou entre 4 a 6 horas, onde a quantidade de equivalentes de maltose variou de 7,2 a 8,7 mg/mL. Estes valores podem ser importantes para a indústria que às vezes procura novas fontes de maltose com o objetivo de produzir bebidas livres de glúten (HAGER et al., 2014).

A análise mais refinada da primeira fase da hidrólise do amido até 60 min (Figura 15), mostra que a cultivar BSyB apresenta velocidade de hidrólise maior, seguida pela cultivar PNP. As amostras PCP e BSaP apresentam velocidade de hidrólise similar e menor que as anteriores; as amostras VPP e VCP apresentam as velocidades menores de hidrólise.

Figura 15 – Hidrólise enzimática do amido, em equivalentes maltose, até 60 minutos. Onde: VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru

5.2.8 Cor do amido

Durante a obtenção do amido das diferentes amostras de quinoa, observou-se que havia diferença na cor dos mesmos, especialmente naqueles obtidos dos grãos com pericarpo colorido. Assim, a cor do amido obtido foi um dos parâmetros de qualidade avaliados. Na Tabela 22 estão apresentados os parâmetros de cor (luminosidade, cromaticidade e ângulo hue).

Tabela 22 - Valores de luminosidade (L), croma (C) e ângulo hue (°H) do amido extraído de amostras de quinoa

Amostras de quinoa	L	Croma	H°
VPP	97,4 ± 0,12c	8,1 ± 0,03a	124,6 ± 0,27e
VCP	97,2 ± 0,05d	8,1 ± 0,02a	124,9 ± 0,13 e
PNP	97,1 ± 0,07d	7,7 ± 0,01d	126,3 ± 0,08c
PCP	96,9 ± 0,12e	7,9 ± 0,03c	125,4 ± 0,27d
BSyB	99,0 ± 0,07b	8,0 ± 0,02b	129,4 ± 0,20b
BSaP	99,4 ± 0,08a	7,8 ± 0,02d	130,9 ± 0,08a

Média de cinco repetições ± desvio padrão

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey (p < 0,05)

VPP = Vermelha Pasankalla Peru; VCP = Vermelha Comercial Peru; PNP = Preta Negra Collana Peru; PCP = Preta Comercial Peru; BSyB = Branca Syetetuba Brasil; BSaP = Branca Salcedo Peru

Os valores de luminosidade (L) variam do preto (0) ao branco (100); os valores obtidos para L mostram que os amidos provenientes de cultivares com pericarpo branco foram os que apresentaram os maiores valores, próximos à cor branca (100), indicando alto grau de pureza. Araujo-Farro (2008) empregando a mesma metodologia de extração de amido em grãos de quinoa branca obteve valor de L de 96,7.

Sira e Amaiz (2004) avaliaram o amido de grãos de sorgo de cor branca e preta e observaram valores de L de 91,3 e 78,4, respectivamente, observando o menor valor de L para o amido obtido dos grãos de cor preta, com presença de compostos fenólicos no pericarpo dos mesmos.

Não foram encontrados na literatura avaliação da cor de amido de quinoa provenientes de grãos coloridos, desse modo, os resultados aqui apresentados poderão contribuir para futuros trabalhos com tais grãos. A cor do amido é um atributo importante de sua qualidade que poderá influenciar na transparência/opacidade da pasta de amido e varia consideravelmente com a fonte botânica (CEREDA, 2001).

6 CONCLUSÕES

As amostras de quinoa de cor preta, vermelha e branca mostraram como principal diferença o teor de cinzas, fibra e amido. As amostras de quinoa preta apresentaram o maior teor de minerais, entretanto o menor teor de amido. A variedade BRS Syetetuva se destacou das demais com relação ao maior teor de proteína. Com relação ao teor de compostos fenólicos foi encontrada diferença entre as amostras, no entanto, a cor do grão não está relacionada a um teor superior de compostos fenólicos. Porém, a capacidade antioxidante medida pelo método DPPH mostrou que as amostras de cor preta e vermelha apresentaram os maiores valores em relação aos cultivares brancos.

O método alcalino utilizado na extração de amido permitiu obter amidos com baixos teores de impurezas. Na caracterização dos amidos uma das principais diferenças encontradas entre as cultivares foi o teor de amilose. Observando-se que a amilose influencia nas propriedades de pasta e térmicas especialmente na retrogradação do amido.

Os amidos de quinoa apresentaram padrão de cristalinidade tipo A que é típico em cereais. As micrografias mostraram a forma poliédrica dos grânulos de amido para todas as cultivares. A cor dos amidos obtidos de quinoas brancas apresentaram maiores valores de luminosidade, os menores valores observados foram para os amidos extraídos das cultivares com pericarpos vermelhos e pretos, devido à presença de pigmentos presentes no grão. A porcentagem de hidrólise do grão de quinoa obtido a partir da ação da enzima alfa amilase pancreática variou de 80,6 a 94,4% no tempo de 480 minutos.

As análises realizadas neste estudo ampliam o conhecimento das características da quinoa de cor branca, vermelha e preta, além de mostrar que a cultivar brasileira (BSyB) apresenta características diferenciadas em vários parâmetros. No entanto, seria interessante avaliar outras amostras cultivadas no Brasil e associar as características com o local de cultivo. Devido as suas propriedades todas as amostras analisadas possuem potencial para futuras aplicações tecnológicas.

REFERÊNCIAS

- ABDERRAHIM, F.; HUANATICO, E.; REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.; ARRIBAS, S. M.; GONZALEZ, M. C.; CONDEZO-HOYOS, L. Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). **Journal of Cereal Science**, London, v. 56, n. 2, p. 410-417, 2012.
- AHAMED, N.T.; SINGHAL, R.S.; KULKARNI, P.R.; PAL, M. Deep fat-fried snacks from blends of soya flour and corn, amaranth and chenopodium starches. **Food Chemistry**, London, v. 58, n. 4, p. 313-317, 1997.
- AHAMED, N.T.; SINGHAL, R.S.; KULKARNI, P.R.; PAL, M. Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 31, n. 1, p. 99-103, 1996.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.A. Storage of soybeans and its effects on quality of soybean sub products. **InTech Europe: Rijeka**, p. 47-66, 2011. Disponível em: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/22596.pdf>. Acesso em: 18 dez.2015.
- ALVAREZ-JUBETE, L.; WIJNGAARD, H.; ARENDT, E.K.; GALLAGHER, E. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. **Food Chemistry**, London, v. 119, n. 2, p. 770-778, 2010.
- ANDO, H.; CHEN, Y. C.; TANG, H.; SHIMIZU, M.; WATANABE, K.; MITSUNAGA, T. Food components in fractions of quinoa seed. **Food Science and Technology Research**, Oxford, v. 8, n. 1, p. 80-84, 2002.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. Viçosa: Universidade Federal Viçosa, 2015. 668 p.
- ARAUJO-FARRO, P.C. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis a partir de derivados do grão de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willdenow) da variedade “Real”**. 2008. 303 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- ARAUJO-FARRO, P.C.; PODADERA, G.; SOBRAL, P.J.; MENEGALLI, F.C. Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 81, n. 4, p. 839-848, 2010.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 18th ed. Arlington, 2006. 1141 p.
- ATWELL, W.A.; PATRICK, B.M.; JOHNSON, L.A.; GLASS, R.W. Characterization of quinoa starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 60, n. 1, p. 9-11, 1983.
- BALLÓN, E.; SALCEDO, C.; CUESTA, A.; MONTES, V. Contenido de minerales en grano, harina y salvado de cultivares de quinoa. **Revista del Instituto Colombiano Agropecuario**, Bogotá, v. 19, n. 1, p. 153-164, 1984.

BELLO-PÉREZ, L.A.; MONTEALVO, M.G.M., ACEVEDO, E. A. Almidón: definición, estrutura y propiedades. In: LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos em alimentos regionais iberoamericano**. São Paulo: EDUSP, 2006. cap. 1, p. 17-46.

BENMOUSSA, M.; SUHENDRA, B.; ABOUBACAR, A.; HAMAKER, B.R. Distinctive sorghum starch granule morphologies appear to improve raw starch digestibility. **Starch-Stärke**, Weinheim, v. 58, n. 2, p. 92-99, 2006.

BICUDO, M.O.P.; VASQUES, É.D.C.; ZUIM, D.R.; CANDIDO, L.M.B. Elaboração e caracterização de bebida fermentada à base de extrato hidrossolúvel de quinoa com polpa de frutas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 30, n. 1, p. 19-26, jan./jun. 2012.

BILIADERIS, C.G. The structure and interactions of starch with food constituents, **Canadian Journal of Physiology and Pharmacology**, Ottawa, v. 69, n. 1, p. 60-78, 1991.

BILIADERIS, C.G., PAGE, C.M., MAURICE, T.J.; JULIANO, B.O. Thermal characterization of rice starches: A polymeric approach to phase transitions of granular starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 34, n. 1, p. 6-14, 1986.

BILIADERIS, C.G.; MAURICE, T.J.; VOSE, J.R. Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 45, n. 6, p. 1669-1674, 1980.

BORGES, J. T.; BONOMO, R. C.; PAULA, C. D.; OLIVEIRA, L. C.; CESÁRIO, M. C. Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). **Temas agrários**, Montería, v. 15, n. 1, 2010.

BORGES, J.D.S.; ASCHERI, J.L.R.; ASCHERI, D.R.; NASCIMENTO, R.E.; FREITAS, A.S. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*), polido por extrusão termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 303-322, 2003.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, London, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 2005. Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 set. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CAPERUTO, L.C.; AMAYA-FARFAN, J.; CAMARGO, C.R.O. Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten-free spaghetti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, n. 1, p. 95-101, 2001.

CEREDA, M.P. (Ed.). **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. v. 1, 224 p. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latinoamericanas).

CHEETHAM, N.W.; TAO, L. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 36, n. 4, p. 277-284, 1998.

CHUNG, H.-J.; WOO, K.-S.; LIM, S.-T. Glass transition and enthalpy relaxation of cross-linked corn starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 55, n. 1, p. 9-15, 2004.

CIACCO, C.F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 152 p.

COMAI, S.; BERTAZZO, A.; BAILONI, L.; ZANCATO, M.; COSTA, C. V.; ALLEGRI, G. The content of proteic and nonproteic (free and protein -bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. **Food Chemistry**, London, v. 100, n. 4, p. 1350-1355, 2007.

COOKE, D.; GIDLEY, M. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, Barking, v. 227, p. 103-112, 1992.

DE BRUIN, A.D. Investigation of the food value of quinoa and cañihua seed. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 29, n. 6, p. 872-876, 1964.

DE MEO, B.; FREEMAN, G.; MARCONI, O.; BOOER, C.; PERRETTI, G.; FANTOZZI, P. Behaviour of malted cereals and pseudo-cereals for gluten-free beer production. **Journal of the Institute of Brewing**, London, v. 117, n. 4, p. 541, 2011.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K.K.; LIU, R.H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, n. 10, p. 3010-3014, 2002.

DONA, A.C.; PAGES, G.; GILBERT, R.G.; KUCHEL, P.W. Digestion of starch: In vivo and in vitro kinetic models used to characterize oligosaccharide or glucose release. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 80, n. 3, p. 599-617, 2010.

EDUARDO, M. D. P. **Hidrólise enzimática de mandioca e puba para a obtenção de xarope de maltose**. 2002. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ELIASSON, A.C. Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. **Starch-Stärke**, Weinheim, v. 32, n. 8, p. 270-272, 1980.

_____. **Starch in food: structure, function and applications**. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605 p.

ELIASSON, A.-C.; KARLSSON, R. Gelatinization properties of different size classes of wheat starch granules measured with differential scanning calorimetry. **Starch-Stärke**, Weinheim, v. 35, n. 4, p. 130-133, 1983.

FAO. La quinoa: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Rome, 2011. 58 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/quinoa-2013/iyq/es/>>. Acesso em: 15 ago. 2014

_____. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

FIGUEROA, L.T.; RAZMILLIC, B.; ZUMEATA, O.; ARANDA, G.N.; BARTON, S.A.; SCHULL, W.J.; YOUNG, A.H.; KAMIYA, Y.M.; HOSKINS, J. A.; ILGREN, E.B. Environmental lithium exposure in the north of Chile - II. Natural food sources. **Biological Trace Element Research**, Clifton, v. 151, n. 1, p. 122-131, 2013. doi 10.1007/s12011-012-9543-1

FLEMING, J.E.; GALWEY, N.W. Quinoa (*Chenopodium quinoa*). In: WILLIAMS, J.T. **Cereals and pseudocereals**. London: Chapman & Hall Ltd, 1995. p. 3-83.

FRANCO, C.M.L.; WONG, K.S.; YOO, S.; JANE, J. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul v. 79, p. 243- 248, 2002.

FREIRE-ALVES, L.; ROCHA, M.S.; GOMES, C.C.F. Avaliação da qualidade proteica da Quinoa Real (*Chenopodium quinoa* Willd.) através de métodos biológicos. **e-Scientia**, Santa María, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2008.

GALLIARD, T. **Starch: properties and potential**. Chichester: John Wiley, 1987. 151 p.

GONÇALVES, E.C.B.A. **Análise de alimentos—uma visão química da nutrição**. São Paulo: Varela, 2012. v. 3, 324 p.

GROOS, C.; GAY, G.; PERRETANT, M. R.; GERVAIS, L.; BERNARD, M.; DEDRYVER, F.; CHARMET, G. Study of the relationship between pre-harvest sprouting and grain color by quantitative trait loci analysis in a white× red grain bread-wheat cross. **Theoretical and Applied Genetics**, Hudson, v. 104, n. 1, p. 39-47, 2002.

HAGER, A.S.; JOSH P.; TAYLOR, J.P.; WATERS, D.M.; ARENDT, E.K. Gluten free beer: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 36, n. 1, p. 44-54, 2014. doi: 10.1016/j.tifs.2014.01.001.

HIZUKURI, S. The effect of environment temperature of plants on the physicochemical properties of their starches. **Journal of the Japanese Society of Starch Science**, Tokyo, v. 17, n. 1, p. 73-88, 1969.

INOUCHI, N.; NISHI, K.; TANAKA, S.; ASAI, M.; KAWASE, Y.; HATA, Y.; KONISHI, Y.; YUE, S; FUWA, H. Characterization of Amaranth and Quinoa starches. **Journal of Applied Glycoscience**, Tokyo v. 46, n. 3, p. 233-240, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Norme internationale: riz détermination de la teneur en amylose; ISSO 6647**. Suisse, 1987. 5 p.

JAMES, L.E.A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, San Diego, v. 58, p. 1-31, 2008.

JAN, R.; SAXENA, D.C.; SINGH, S. Pasting, thermal, morphological, rheological and structural characteristics of *Chenopodium album* starch. **LWT- Food Science and Technology**, London, v. 66, n. p. 267-274. 2015.

JANE, J.; CHEN, J. Effect of amylose size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, p. 60-65, 1992.

JANE, J.; CHEN, Y.Y.; LEE, L.F.; MCPHERSON, A.E.; WONG, K.S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 76, n. 5, p. 629-637, Sept. 1999.

KARIM, A.A.; NORZIAH, M.H.; SEOW, C.C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, London, v. 71, n. 1, p. 9-36, 2000.

KASEMSUWAN, T.; JANE, J.; SCHNABLE, P.; STINARD, P.; ROBERTSON, D. Characterization of the dominant mutant amylose-extender (Ae1-5180) maize starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 5, p. 457-464, 1995.

KENT, N. L. **Chemical composition of cereals**. In Technology of cereals, Oxford: Pergamon Press, 1984. p. 27 – 48.

KLEIN, B.; PINTO, V.Z.; VANIER, N.L.; DA ROSA ZAVAREZE, E.; COLUSSI, R.; DO EVANGELHO, J.A.; DIAS, A.R.G. Effect of single and dual heat–moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches. **Carbohydrate polymers**, Barking, v. 98, n. 2, p. 1578-1584, 2013.

KOBLITZ, M.G.B. **Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 242 p.

KONISHI, Y.; HIRANO, S.; TSUBOI, H.; WADA, M. Distribution of minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Barkinh, v. 68, n. 1, p. 231-234, 2004.

KOZIOL, M.J. Desarrollo del método para determinar el contenido de saponinas en la quinua. In: WAHLI, C. **Quinua: hacia su cultivo comercial**. Quito: Latinreco, 1990b. p. 137-206.

_____. Composición Química. In: WAHLI, C. **Quinua: hacia su cultivo comercial**. Quito: Latinreco, 1990a., p. 137-206.

_____. Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 54, n. 2, p. 211-219, 1991.

_____. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Journal of Food Composition and Analysis**, London, v. 5, n. 1, p. 35-68, 1992.

_____. Quinoa: a potential new oil crop. In: JANICK, J.; SIMON, J.E. (Eds.), **New crops**, New York: Wiley, 1993. p. 328-336.

LAMOTHE, L.M.; SRICHUWONG, S.; REUHS, B.L.; HAMAKER, B.R. Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. **Food Chemistry**, London, v. 167, p. 490-496, 2015.

LAN, H.; HOOVER, R.; JAYAKODY, L.; LIU, Q.; DONNER, E.; BAGA, M.; CHIBBAR, R. N. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches. **Food Chemistry**, London, v. 111, n. 3, p. 663-675, 2008.

LAWAL, O.S. Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidized, acetylated and acid-thinning new cocoyam starch. **Food Chemistry**, London, v. 87, n. 2, p. 205-218, 2004.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P.R.; FALK, K.C.; TYLER, R.T. Characteristics of starch from eight quinoa lines. **Cereal chemistry**, Saint Paul, v. 82, n. 2, p. 216-222, 2005.

LINDEBOOM, N. **Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of starch and protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.)**. 2005.152 p. Thesis (Doctoral dissertation) - Department of Applied Microbiology and Food Science, University of Saskatchewan, Saskatoon, 2005

LIU, H.; YU, L.; XIE, F.; CHEN, L. Gelatinization of cornstarch with different amylase/amylopectin content. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 65, p. 357–363, 2006.

LORENZ, K. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Starch-physicochemical properties and functional characteristics. **Starch Stärke**, Weinheim, v. 42, n. 3, p. 81-86, 1990.

MARCON, M.J.A.; AVANCINI, S.R.P.; AMANTE, E.R. **Propriedades químicas e tecnológicas do amido de mandioca e do polvilho azedo**. Florianópolis: UFSC, 2007. 101 p.

MATTA-JUNIOR, M.D. **Caracterização de biofilmes obtidos a partir de amido de ervilha (*pisumsativum*) associado à goma xantana e glicerol**. 2009. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-430, 1959.

MIRANDA, M.; VEGA-GÁLVEZ, A.; QUISPE-FUENTES, I.; RODRÍGUEZ, M.J.; MAUREIRA, H.; MARTÍNEZ, E.A. Nutritional aspects of six quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotypes from three geographical areas of Chile. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Santiago de Chile, v. 72, n. 2, p. 175-181, 2012.

MORITZ, A.R. Existe cor em nossas vidas. Brasília: Mundo da cor, 2011. 176 p.

MORRISON, W.R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 40, n. 6, p. 437-446, 1995.

MORRISON, W.R.; LAIGNELET, B. An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. **Journal of Cereal Science**, London, v. 1, n. 1, p. 9-20, 1983.

MUNDIGLER, N. Isolation and determination of starch from amaranth (*Amaranthus cruentus*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Starch-Stärke**, Weinheim, v. 50, n. 2/3, p. 67-69, 1998.

NARA, S.; KOMIYA, T. Studies on the relationships between water saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch. **Starch-Stärke**, Weinheim, v. 35, p. 407-410, 1983.

NASCIMENTO, A.C.; MOTA, C.; COELHO, I.; GUEIFÃO, S.; SANTOS, M.; MATOS, A.S.; GIMENEZ, A.; LOBO, M.; SAMMAN, N.; CASTANHEIRA, I. Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: proximates, minerals and trace elements. **Food Chemistry**, London, v. 148, p. 420-426, 2014.

OGUNGBENLE, H. Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, New York, v. 54, n. 2, p. 153 -158, 2003.

PALOMBINI, S.V.; CLAUS, T.; MARUYAMA, S.A.; GOHARA, A.K.; SOUZA, A.H.P.; SOUZA, N.E.D.; VISENTAINER, J.V.; GOMES, M.T.; MATSUSHITA, M. Evaluation of nutritional compounds in new amaranth and quinoa cultivars. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 33, n. 2, p. 339-344, 2013.

PÁSKO, P.; BARTON, H.; ZAGRODZKI, P.; GORINSTEIN, S.; FOLTA, M.; ZACHWIEJA, Z. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidante activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. **Food Chemistry**, London, v. 115, n. 3, p. 994-998, 2009.

PEREZ, D. **The challenges of analyzing the molecular properties of starch**. 2014. 128 p. Thesis (Doctoral dissertation) - Department of Food Technology, Engineering and Nutrition, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, 2014.

POLESI, L.F. **Amido resistente obtido a partir de amido de leguminosas e de seus hidrolisados**. 2009. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PREGO, I.; MALDONADO, S.; OTEGUI, M. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. **Annals of Botany**, London, v. 82, n. 4, p. 481-488, 1998.

QIAN, J.; KUHN, M. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch. **Starch Stärke**, Weinheim, v. 51, n. 4, p. 116-120, 1999.

RANHOTRA, G.S.; GELROTH, J.A.; GLASER, B.K.; LORENZ, K.J.; JOHNSON, D.L. Composition and protein nutritional quality of quinoa. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, n. 3, p. 303-305, 1993.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 26, n. 9, p. 1231-1237, 1999.

REPO DE CARRASCO, R.; ZELADA, C.R.E. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). **Revista de la Sociedad Química del Perú**, Lima, v. 74, n. 2, p. 85-99, 2008.

REPO-CARRASCO, R. **Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos**. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 1998. 107 p.

REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.A.M.; SERNA, L.A. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as a source of dietary fiber and other functional components. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 225-230, mar. 2011.

REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.; HELLSTROM, J.K.; PIHLAVA, J.M.; MATTILA, P.H. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). **Food Chemistry**, London, v. 120, n. 1, p. 128-133, 2010.

ROCHA, T.S. **Estudo da hidrólise enzimática do amido de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*): efeito do tamanho dos grânulos**. 2007. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2007.

_____. **Estudo das características estruturais de amidos: efeito do 'annealing', da hidrólise ácida e da hidrólise enzimática**. 2010. 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2010.

RUALES, J.; NAIR, B.M. Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) seeds. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 42, p.1-11, 1992.

_____. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) seeds. **Food Chemistry**, Barking, v. 48, n. 2, p. 131-136, 1993.

_____. Effect of processing on in vitro digestibility of protein and starch in quinoa seeds. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 29, n. 4, p. 449-456, 1994.

SACHA BARRIO, H. **Nutrición inteligente: guía práctica de alimentación y gastronomía viva**. Barcelona: Planeta, 2010. 225p.

SALGADO, J.M. **Guia Dos Funcionais-Dieta Alimentar**. São Paulo: Ediouro, 2009. 192 p.

SANDHU, K.S.; KAUR, M.; SINGH, N.; LIMA, S.T.A. Comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 41, p. 1000-1010, 2008.

SAS INSTITUTE. **SAS system for windows: version 9.1**. Cary, 2003.

SCHOCH, T.J. Swelling power and solubility of granular starches. In: _____. **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, 1964. v. 4, p. 106-108.

SINGH, J.; MCCARTHY, O. J.; SINGH, H. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 64, n. 4, p. 569-581, 2006.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B.S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, London, v. 81, p. 219-231, 2003.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, New York, v. 299, p. 152-178, 1999.

SIRA, E.E.P.; AMAIZ, M.L. A laboratory scale method for isolation of starch from pigmented sorghum. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, n. 4, p. 515-519, 2004.

SIZER, F.; WHITNEY, E. **Nutrição: conceitos e controvérsias**. 8. ed. São Paulo: Manole, 2003. 567 p.

SPEHAR, C.R. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 41-62, 2006.

SPEHAR, C.R.; ROCHA, J.E.D.S.; SANTOS, R.L.D.B. Agronomic performance and recommendations for quinoa (BRS SYETETUBA) crop in the Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 145-147, 2011.

SPEHAR, C.R.; SANTOS, R.L.B. Quinoa BRS Piabiru: alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 6, p. 889-893, 2002.

SURMELY, R.; ALVAREZ, H.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Hidrólise do amido. In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, p. 378-449.

TANG, H.; WATANABE, K.; MITSUNAGA, T. Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 49, n. 1, p. 13-22, 2002.

TANG, Y.; LI, X.; ZHANG, B.; CHEN, P.X.; LIU, R.; TSAO, R. Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food Chemistry*, v. 166, n. 1, p. 380-388. 2015. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.06.018

TESTER, R.F.; DEBON, S.J. Annealing of starch: a review. **International Journal of Biological Macromolecules**, Guildford, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2000.

TESTER, R.F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch: composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, London, v. 39, n. 2, p. 151-165, 2004.

TESTER, R.F.; MORRISON, W.R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 67, n. 6, p. 551-557, 1990.

TESTER, R.F.; QI, X.; KARKALAS, J. Hydrolysis of native starches with amylases. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 130, n. 1, p. 39-54, 2006.

THOMAS, D.J.; ATWELL, W. **Practical for guides the food industry: starch**. Saint Paul: Eagan Press, 1999. 94 p.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<http://ndb.nal.usda.gov>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

VEGA-GÁLVEZ, A.; MIRANDA, M.; VERGARA, J.; URIBE, E.; PUENTE, L.; MARTÍNEZ, E. A. Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 90, n. 15, p. 2541-2547, 2010.

WALTER, M. **Composição química e propriedades antioxidantes de grãos de arroz com pericarpo marrom-claro, vermelho e preto**. 2009. 114 p. Tese (Doutorado em Agronomia) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

WANI, A.A.; SINGH, P. ;SHAH, M.A.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U.; GUL, K.; WANI, I.A. Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties; a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, New York, v. 11, n. 5, p. 417-436, 2012.

WEBER, F.H.; COLLARES-QUEIROZ, F.P.; CHANG, Y.K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

WHITNEY, E.; ROLFES, S.R. **Nutrição: entendendo os nutrientes**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 418 p.

ZEVALLOS, V.F; ELLIS, H.J.; ŠULIGOJ, T.; HERENCIA, L.I.; CICLITIRA, P.J. Variable activation of immune response by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) prolamins in celiac disease. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 96, n. 2, p. 337-344, 2012.

ZHANG, G.; HAMAKER, B.R. Low α -amylase starch digestibility of cooked sorghum flours and the effect of protein 1. **Cereal Chemistry**, Saint Paul v. 75, n. 5, p. 710-713, 1998.

ZOBEL, H.F. X-ray analysis of starch granules In: _____ **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, 1964. v. 4, p. 109-113.